

661  
SIA





هو الجزء الثاني من كتاب التلخيص رموز السر المصون في تطبيق

المهندسة على الفنون \* أبرزه من الفرساوية الى العربية

راجي رحة المعيد المبدى \* العقيق مولاه السيد

صالح افندي \* غفر الله ذنوبه وستر

في الدارين عيوبه

امين



فهرسة الجزء الثاني من كتاب كشف رموز السر المصون

--- في تطبيق الهندسة على الفنون

٢	بيان ميكانيكا الحرف والصنائع والفنون المستطرفة
	الدرس الاول في ذكر مجموع الاقيسة المستعملة في الفنون الميكانيكية
٢	على العموم
٣	بيان الاقيسة الهندسية
٣	بيان اقيسة الطول
٧	بيان اقيسة السطوح
٨	بيان اقيسة الاتساع
٨	بيان اقيسة الميكانيكا وهي الانتقال
٩	بيان قياس القوى في الميكانيكا بالنقود
	الدرس الثاني في بيان ما بقى من الاقيسة وفي قوانين التحرك الاولى
٢١	وتطبيقها على الآلات
٢٤	بيان قوانين التحرك الاولى
٢٥	بيان التوازن
٣٦	بيان التناقل
٤٢	الدرس الثالث في بيان القوى المتوازية
	الدرس الرابع في بيان مراكز ثقل الآلات ومحصولات الصناعة وفي كيفية
٥٨	القوى
٦٤	بيان مركز ثقل السطوح
٦٤	بيان مركز ثقل المثلث
٦٥	بيان مركز ثقل ذي اربعة الاضلاع
٦٧	بيان مقادير القوى المتوازية
٨٢	بيان استعمال مراكز الثقل لاجل تحصيل حجم بعض الاجسام

- ٨٤      الدرس الخامس في بيان ما بقى من قوانين التحرك
- الدرس السادس في بيان الالات البسيطة <sup>وهي</sup> الجبال والقناطر
- المعلقة وعدد خيول العربات وادوات السفن ولوازمها وما اشبه
- ١٠٣      ذلك
- ١٠٣      بيان الجبال
- ١٠٦      بيان الكبش (اي الشامردان) وهو الالة المعدة لدق الخواير
- ١١٩      بيان القناطر المعلقة
- الدرس السابع في بيان ما بقى من الجبال وفي التحركات المستديرة
- للجبال والقضبان والعجلات والطيارات وفي مقادير الايرسي
- وفي البندولات
- ١٢٦
- ١٤٧      بيان البندول
- ١٥٧      بيان معادل الالات البخارية
- ١٥٨      الدرس الثامن في بيان الرافعة
- ١٦٦      بيان الرافعة التي من النوع الاول
- ١٧٢      بيان الرافعة التي من النوع الثاني
- ١٧٢      بيان الرافعة التي من النوع الثالث
- ١٧٥      الدرس التاسع في بيان البكرات والملفات
- ١٨٠١      بيان البكر المتحركة
- ١٨٩      بيان التناقل في البكرات
- ١٩٨      الدرس العاشر في بيان المنجنون والطارات المضرسة
- ٢٠٣      بيان تأثيرات التناقل في المنجنون
- الدرس الحادي عشر في بيان التوازن على المستويات الثابتة
- ٢١٩      والمستويات المائلة وسكك الحديد التي مستوياتها مائلة
- ٢٣٨      بيان المستويات المائلة

صيفه

- الدرس الثاني عشر في بيان الإجماع والاختلاف والخيال والخيال  
 وسائر الالات التي من هذا القبيل  
 ٢٤٤  
 بيان التواء الخيال  
 ٢٥٢  
 بيان الخبايا  
 ٢٥٤  
 الدرس الثالث عشر في بيان ما يقع في الالات من الاحتكاك  
 ٢٦٥  
 الدرس الرابع عشر في بيان الضغط والشد والمرونة على العموم  
 ٢٨٦  
 الدرس الخامس عشر في بيان اصطدام الاجسام  
 ٣٠٧



بيان ما وقع من الخطأ والصواب في الجزء الثاني من كتاب كشف رموز  
السرامصون في تطبيق الهندسة على الفنون

خطا	صواب	صحيفه	سطر
اقبسة الاتساع	المكايل	٨	١
اوالاتساع	اوالمكايل	٨	٢
اقبسة السعة	المكايل	١٣	١٤
ومواد التجارة	وآلات التجارة	١٣	٢٣
عديتها	اعتدتها	١٣	٢٤
وا	وا	٣٣	١٧
ا	١١	٣٣	١٨
ا	١١	٣٣	١٩
ا	١١	٣٣	٢٤
كمية القوى	مقادير القوى	٥٨	١٣
متألفا	متألف	٦٠	١٠
ع	غ	٧٢	١٣
جلاظطة	صناع	٧٣	٧
٢	$\frac{1}{4}$	٧٥	٣
ع غ	غ غ	٧٥	٩
ع غ	غ غ	٧٥	١١
ص	ض	٨١	٦
ك ص	ك ض	٨١	٧
عند مركز	عن مركز	٨١	١٠
م ص	م ض	٩٨	١٥٠
و ح ح	و ح ح	٩٨	١٧
اذا انزلنا	اذا انزلنا	٩٩	٥

خطا	صواب	صحيفة	سطر
اي المتجنيق	اي المتجنون (وهكذا كلما جاء في هذا الجزء من متجنيق فصوابه متجنون)	١٠٣	١٢
بالنظرت	بالنظريات	١٠٣	١٨
ث صه ز صه	ث صه ز صه	١٠٨	٥
اسه	احه	١٠٩	١٤
ف ص	ف ض	١٣٥	١٦
و غ م	و غ م	١٣٨	١٦
فتكون م التي هي كية التحرك	فتكون كية تحرك م	١٤٢	٢
من نقطة ل	من نقطة د	١٦١	٢١
على لسان	على حالة	١٦٦	٢٠ و ١٩
لقوة س	لقوة سه	١٧١	٢١
وهور	وهول	١٧٤	٩
ل ×	ل ×	١٧٤	١٨
س × ل	س × ل	١٧٤	١٩
خ خ	خ خ	١٧٨	٢
ح × ح	ح × ح	١٨٤	٤
ح × ح	ح × ح	١٨٥	٩
(ث +)	(ث +)	٢٠٢	٩
ونقطة	ونقط	٢٠٤	١٢
من نقل	من مركز نقل	٢٠٤	٢٣
مركبة	مركبة (شكل ٤)	٢٠٥	٢٠

	خطا	صواب	صحيفه سطر
العيار	(الشكل ٦)	و يجيره	٢٠٦ ١٦
كالقرص	كالدولاب	أ-ب	٢١١ ٣
أ-ب	ز=	ز×	٢١٤ ٦ و ٨ و ١٥
ز=	ز×	ح ع	٢١٥ ٤
ح ع	وذات	من	٢٢٢ ٦
م ب	المصاريف	محالات	٢٢٣ ٢٥
الرياح الطيبة	ف=	خ	٢٢٥ ١٣
طاقات	من اطرافهما	فاستبدلوا	٢٣٥ ٢
ف=	القبان	رمانه القبان	٢٣٦ ٨
ح	١٠٠٠٠٠٠٠	١٤٢:	٢٥١ ١٧
من اطرافهما	١٠٠٠٠٠٠٠٠	١٠٠٠: ١٦ الخ	٢٥٧ ١٩
استبدلوا	١٠٠٠٠٠٠٠٠	فكي النخنة	٢٦٧ ٦
رمانه القبان	١٠٠٠٠٠٠٠٠	١٠٠٠: ١٦ الخ	٢٦٨ ٢٣
١٠٠٠٠٠٠٠٠	١٠٠٠٠٠٠٠٠	١٠٠٠: ١٦ الخ	٢٧٣ ٢٢
١٠٠٠٠٠٠٠٠	١٠٠٠٠٠٠٠٠	١٠٠٠: ١٦ الخ	٢٧٤ ١٥
١٠٠٠٠٠٠٠٠	١٠٠٠٠٠٠٠٠	١٠٠٠: ١٦ الخ	٢٨٤ ٧ و ٦
١٠٠٠٠٠٠٠٠	١٠٠٠٠٠٠٠٠	١٠٠٠: ١٦ الخ	٢٨٨ ١٤







(بسم الله الرحمن الرحيم)

(بيان ميكانيكا الحرف والصنائع والفنون المستظرفة)

\*(الدرس الأول)\*

(في ذكر مجموع الاقيسة المستعملة في الفنون الميكانيكية على العموم)

اعلم ان خواص الاجسام المادية قابلة للقياس وبقياسها يحدث في علم الحساب طريقة تقويم النسب الموجودة بين الخواص المتماثلة والدرجات المتنوعة من كل خاصية

ثم ان البحث عن طرق تحصيل قياس هذه الخواص من موضوعات علم الطبيعة الاصلية وكما ظهر فرع جديد من هذا العلم يلزم ايجاد اقيسة للنسب الجديدة التي تظهر منه وكل من هذه الاقيسة يوصل عادة الى معارف لا يمكن اكتسابها بدون العلم المذكور

ولنقتصر الآن على معرفة الاقيسة التي لا بد منها في علم الميكانيكا واما الاقيسة  
الاصلية التي لا فائدة لها الا في بعض فروع من هذا العلم وفي بعض فنون فسنبينها  
مرتبة عند الكلام على المواد الاصلية المتعلقة بها

\*(بيان الاقيسة الهندسية)\*

تطلق الاقيسة الهندسية على اقيسة الامتداد وهي المسافات والسطوح  
والججوم وتستعمل تلك الاقيسة في علم الميكانيكا لاجل قياس المسافات  
المشغولة والمقطوعة بالنقطة والخطوط والسطوح والاجسام

\*(بيان اقيسة الطول)\*

اتفقوا على انه يمكن اخذ جزء من خط مستقيم كثير الامتداد او قليله وجعله  
وحدة للطول وانه يمكن ايضا تغيير هذه الوحدة على حسب الازنة والامكنة  
والاحتياجات والاحوال ومن ثم ترى القرنسائية والنسائية والايطاليين  
والانكليز واغلب الملل يستعملون لقياس الاطوال وحدة مختلفة بل ترى  
في الغالب الامة الواحدة تستعمل في اقاليمها المتسعة اقيسة للطول غير متماثلة  
بالكلية

ومثل هذا الاختلاف ينشأ عنه خطأ كبير في عمليات الفنون والتجارة وما به  
مخالطة الاهالي وارتباط بعضهم ببعض وبواسطته يلزم معرفة نسبة الاحاد  
المتضادة المعدة لقياس الاشياء المتجانسة معرفة صحيحة تامة فاذا اردنا عمل  
ما يلزم من الحسابات للاشغال الميكانيكية والنقل والبيع والشراء يلزم  
تحويل الارقام لاجل معرفة المقدار الحقيقي للابعاد والاسعار

وبقطع النظر عما يترتب على هذا التحويل من ضياع الزمن يوجد في وسائط  
التحويل المذكور نقص بين يغش به من ليس معه زمن كاف ولا قدرة له  
على فهم مثل تلك الحسابات المشككة التي لم ترل آخذة في الزيادة فاذن يجب  
على كل مملكة أن لا تستعمل في جميع اراضيها الانوع واحدا من الاقيسة

واذا امعنت النظر رأيت ايضا انه يلزم ذلك لجميع الناس لاسيما الامة المتقدمة نظرا  
لحاطاتهم الاهلية

ومن ثم كانت مملكة البلاد الواطية وقسم من بلاد السويدية والبيومون  
ومملكة إيطاليا القديمة ومملكة نابلي تستعمل الان انواع الاقيسة التي  
اصطلح عليها الفرنسيات ولولا ما يوجد عند بعض الامم من المنافسة والغيرة  
لاستعملت تلك الانواع عند جميع الملل المتقدمة في المعارف

ثم ان وحدة اقيسة الطول التي كانت مستعملة قديما ليس لها في الطبيعة اصل  
ثابت يعول عليه في استعمال هذه الوحدة في سائر الازمنة والاكنة واخذوا  
قديما القدم والتوازن على طول قامة وقدم من انسان طويل القامة ولكن  
حيث كان يندرج وجود شخصين متعددين في طول القدم والقامة لزم انهم  
لوقدوا مقدار القدم والتوازن المنقذ من لتعذر عليهم ايجاد هذه الوحدة  
ثابتا مع مزيد الضبط والصحة

ولما عثر لعلماء الفرج أن يقيسوا على سطح الارض المسافة التي بين القطب  
وخط الاستواء من الشمال الى الجنوب تابعين اتجاه خط من خطوط نصف  
النهار اجروا هذه العملية النفيسة مع الصباح الذي عظم به شأن الطرق العلمية  
والآلات الميكانيكية والمعارف والمراطنة وشجاعة مشاهير الرجال الذين  
شرعوا او استمروا على هذا العمل الجسيم

وذات انهم بعد أن قوموا طول المسافة المذكورة مع غاية الضبط الذي توصل  
اليه لصناعة قسموه الى عشرة ملايين متساوية الاجزاء واخذوا احدها  
الاجزاء وجعلوه وحدة للطول وسماه مترا

والمتريساوي بمقابلته للاقيسة القديمة ٣ اقدام و ١١ خطا و ٢٩٦  
من لف من خطا اعنى انه اقل من ٣ اقدام وقيراط

فإذا لم يكن هناك الامسافات مختلفة قليلا وكانت لا تحتاج الى مزيد الضبط  
امكن استعمال نوع واحد من الآحاد وترك الكسور الا ان هناك مسافات  
عديدة او اطوالا كثيرة ينبغي قياسها باقل من المتر وهذا من البديهييات  
فان هناك اشياء لم يبلغ طولها مترا واحدا وبناء على ذلك لزم تقسيم الوحدة  
الاصاية للاقيسة الى تقسيمات اولية وثانوية

وبذلك ظهرت إحدى الفوائد العظيمة الناشئة عن الطريقة الجديدة  
ثم إن طريقة العد في باب العدية تكون بالآحاد والعشرات والمئات أو بالآحاد  
الآلاف وهكذا بأن تبدأ بالآحاد من عشرة إلى عشرة أكبر منها إذا راعينا  
تركيب الأرقام من اليمين إلى الشمال ومن عشرة إلى عشرة أصغر منها  
إذا راعينا العكس أي من الشمال إلى اليمين

وهذه الطريقة مطابقة لطريقة الأقيسة الفرنسية الجديدة والانسب أن يقال  
إنها عين الطريقة الداخلة في ضرب الأقيسة الفرنسية وتقسيماتها الثانوية  
وقد قسموا أولاً المتر إلى عشرة أجزاء وهي الديسمتر ثم قسموا الديسمتر  
إلى عشرة أجزاء وهي عشر العشر أي مائة المتر وتسمى السنتمتر ثم قسموا  
السنتمتر إلى عشرة أجزاء وهي عشار السنتمتر أي عشار المئات أعني جزءاً  
من القسم من المتر وتسمى مليمتراً وهلم جرا

وقد اسلفنا أن هناك أشياء لا يبلغ طولها متراً فبناء على ذلك ينبغي أن يكون  
هناك أحاد صغيرة لقياس الأشياء الصغيرة الأبعاد والمسافات القصيرة  
وأحاد كبيرة لقياس الأشياء الكبيرة الأبعاد والمسافات الطويلة

فمن ثم أخذوا طولاً يبلغ عشرة أمتار ليصنعوا منه القياس المسمى بالديكامتر  
وطولاً مقداره عشرة ديكامترات أو مائة متر ليصنعوا منه القياس المسمى  
بالاكتومتر

وطولاً مقداره عشرة أكتومترات أي مائة متر مكررة عشرة مرات أعني  
الف متر ليصنعوا منه القياس المسمى بالكيلومتر

وطولاً مقداره الف متر مكرراً عشرة مرات أعني عشرة آلاف متر ليصنعوا  
منه القياس المسمى بالميريامتر

وكل عشرة من الميريامتر تساوي درجة مئيتية من الأرض أي ١٠٠  
جزء من البعد المحصور بين القطب وخط الاستواء المقيس على خط من  
خطوط نصف النهار

ودرجة الأرض العرضية تساوي عشرة من الميريامتر

والدقيقة تساوي كيلومتراً

والثانية تساوى ديكامترا

والثالثة تساوى دسمترا

والرابعة تساوى ملترا

فعلى ذلك ليست جميع الاقيسة المستعملة في طرق فرنسا وسككها  
وفي الاشغال الهيئة الانوعا واحدا من ابتداء ملتر بسيط الى الدورة الكاملة  
من الارض كما سبق موضحا في الدرس الثالث من الهندسة الذي تكلمنا فيه  
على الدائرة

وبذلك يظهر لك ما يترتب على هذه المطابقات العظيمة من مزيد الاختصار  
في كثير من عمليات الملاحة والطبوغرافيا اى رسم الارض او الجغرافيا  
المزوجة بارصاد فلكية

واعظم فوائد طريقة الاقيسة الجديدة هي سهولة جميع عمليات الحساب  
على عمارسها اذ بها يمكن ان يصنع اى طول من الميريامتر او الكيلومتر او من  
الاكثومتر او الديكامتر او المتر على وجه بحيث يضع من الشمال  
الى العين جميع تلك الاعداد بعضها عقب بعض كالاتحاد والعشرات والمئات  
من عدد واحد

فعلى ذلك اذا كانت هذه الاسماء الماخوذة من اللغة اليونانية تشوش الالذهن  
ويعسر حفظها وتعليقها فانه يمكن عدم الالتفات اليها بالكلية وراحة  
الذهن منها وترك التلقظ بها والاتيان بدلها بعشرات المتر وما تته وهم جرا  
لان ذلك لا يغير شيئا من الطريقة السابعة

ثم ان كسور المتر وهى الدسمتر والستيمتر والمتر الخ تكتب كالكسور  
الاعشارية على يمين الامتار وتجري عملياتها مع السهولة كعمليات الاعداد  
العصية (الا انه يوضع بينها وبين العصية شرطة تفصلها عنها مثلا ٤ و ٥  
يعنى خمسة امتار واربعه اعشار من متر)

ومن المعلوم ان كثيرا من الناس استعملوا غير مرة الاقيسة القديمة ولم يزالوا

يستعملونها الى الآن مع انهم يعرفون ان تقسيم هذه الطريقة انطالى عن  
الانتظام يشوش الذهن ويوقع الانسان في الحيرة والسأمة وهو مع ذلك  
عرضة للوقوع في الخطا فان التواز الذي قدره ستة اقدام والقدم الذى  
قدره اثنا عشر قيراطا والقيراط الذى قدره اثنا عشر خطا والخط الذى قدره  
اثنا عشر نقطة يتكون منها تقسيمات ثانوية لاتطابق بالكلية ترتيب اعداد  
الحسابات الاعشارية وهذه التقسيمات الثانوية المعروفة بالاجزاء الضلعية  
تستدعى عمليات صعبة يفرغ منها الاطفال لصعوبتها وكانت تستغرق  
في تعليمها عدة سنوات لتكاسل مدرسيها بملافها الآن فانه يمكن تعليمها  
للاطفال من ابتدآء صغرهم في قليل من الزمن بحيث يمكنهم تطبيقها  
على الاقيسة الهندية

وفوائد هذه الطريقة الجديدة توجد بعينها في انواع الاقيسة التي سنذكرها  
وقد كان يظهر ان هذه الطريقة يجب أن تنشر وتستعمل عند جميع الامم  
او عند الامة الفرنسية خاصة لما انها تعتبرها كالآثار المالية الان الاوهام  
القاسدة وما يعرض من الصعوبات الوقتية منعت من ذلك مدة مديدة  
ثم ان المتر اصل لما عدها من اقيسة الطول الاخرى كما سبقت الاشارة اليه  
وهو ايضا اصل لسائر اقيسة السطوح والحجوم والاشكال وغير ذلك

### \* (بيان اقيسة السطوح) \*

اعلم ان الوحدة الاصلية لهذه الاقيسة هي المتر المربع  
والا ر هو المربع الذى طوله عشرة امتار وعرضه كذلك فهو كناية عن عشرة  
صفوف هر كبة من عشرة امتار مربعة او مائة متر مربع ( كما هو مقرر  
في الدرس الرابع من الهندسة )

والا كآر هو المربع الذى طوله عشرة آرات وعرضه كذلك فهو عبارة  
عن عشرة صفوف هر كبة من عشرة آرات مربعة او مائة آر مربع ويستعمله  
الفرنساوية بدلا عن القدان القديم كما انهم يستعملون الارعوض عن القصبة  
القديم

\*( بيان اقيسة الاتساع )\*

المتر المكعب المسمى بالاستير هو وحدة الحجم والاتساع  
فال مكعب الذى يبلغ دسترا واحدا من جميع جهاته اى الذى قدره دستر مكعب  
هو جزء من الف من المتر المكعب

ولاجل سهولة عمليات التجارة والفنون الميكانيكية صنعوا اوانى يبلغ داخلها  
دسترا مكعبا وسموها لترًا واستعملوها فى قياس الموائع والجوامد من  
حبوب و تراب وغيرهما

واما الاكتولتر فهو وعاء اكبر من اللتر مائة مرة او يحتوى على  
مائة لتر ولاكتومتر هو قياس مائة متر

وبالنظر الى الكميات الصغيرة يتقسم اللتر الى عشرة دسلترات او الى مائة  
سنتلتر او الف مليلتر الخ كما ان المتر يحتوى على عشرة دسمترات او مائة  
سنتر او الف ملتر

ثم ان ما يوجد من المشابهة التامة بين هذه التقسيمات الثانوية للاقيسة المتنوعة  
واسماءها مقبول وملائم لا يقتضيه العقل وبه يسهل على كل انسان تذكر هذه  
الاسماء بدولاتها

ولامانع من تسمية الاقيسة الثلاثة التى بينها قريبا بالاقيسة الهندسية حيث  
انها تكفى فى قياس جميع ما تبحث عنه الهندسة المحضة غير انه يلزم ان يضم اليها  
اقيسة اخرى تحتاجها العلوم والفنون الميكانيكية

\*( بيان اقيسة الميكانيكا وهى الاتقال )\*

لجميع اجسام الارض ميل الى القرب من مركزها فلولا المانع لقربت منه  
بان تسقط عليه ثمان التقل هو القوة الكلية التى يميل بها الجسم الساكن الى  
السقوط على وجه الارض

فعلى هذا يكون للجسمين نقل واحد اذا كانت قوتهم التى يميلان بها الى السقوط  
جهة مركز الارض متساوية

ويمكن ان تله ثقلى الاجسام وتقويمه بواسطة الالات التى سيأتى بيانها بواسطة  
تلك الالات يعرف هل الجسمين نقل واحد ام لا

فالغرام هو وحدة القياس الذي ينسب اليه ثقل جميع الاجسام  
والديكغرام هو ١٠ غرامات  
والاكتوغرام هو ١٠٠ غرام  
والكيلوغرام هو ١٠٠٠ غرام  
والرياغرام هو ١٠٠٠٠ غرام  
وهذه الاسماء من قبيل الكلمات المركبة الاصطلاحية المستعملة في الاقيسة  
العظمية كالمتر واللترو وغيرهما فان كلا منهما مركب  
ويستعمل الكيلوغرام في وزن الاجسام التي يكون ثقلها عاثلا لثقل الاشياء  
التي يمكن استعمالها بسهولة والقنطار المتر هو ١٠٠ كيلوغرام  
وما يعرف عند الملاحين بالنسو (اي البرميل) هو ١٠٠٠ كيلوغرام  
واما الغرام وتسمياته الثانوية فيستعمل في وزن الاشياء الصغيرة كمواد  
الصياغة والكيميا والاجزائاته وغير ذلك وينقسم الى عشرة دسغرامات  
ومائة سنتغرام واللف ملغرام  
ولاجل تطبيق صبح الاتصال على اقيسة الابعاد جعلوا مقدار الكيلوغرام  
ثقل دسمتر واحد مكعب او لتر من المياه الصافية الا انه الى كثافتها العظمى  
بواسطة هبوط درجة حرارتها على وجه لائق  
فعلى ذلك اذا كان لا يوجد في سائر بقاع الارض الا متر واحد او لتر  
واحد او استير واحد او كيلوغرام واحد فانه يمكن ايجاد جميع انواع  
الاقيسة الاخرى مع غاية الضبط والسهولة  
والقياس المستعمل في الفنون الذي لا ينبغي اهماله هو النقود  
فوحدة النقود هي الفرنك وهو ينقسم الى عشرة اجزاء تسمى دسما والى  
مائة جزء تسمى سنتما والى الف جزء تسمى ملزما وكل خمسة فرنكات  
تساوي ريالا فرنسا ويا يسمى شنكو وكل ثقل اربعين من الشنكو يساوي  
كيلوغراما واحدا وهذا هو الرابطة بين اقيسة النقود والاقيسة الجديدة  
\*( بيان قياس القوى في الميكانيكا بالنقود ) \*



كأن النقود تستعمل المقادير كذلك تستعمل قياس القوى المستعملة  
في اشغال القنود

وقد قال المهندس مونتغولفيير الشهير اني لا اعرف من القوى الا القوة  
المستعملة بالاجرة فقد جعل النقود قياسا للقوة المستعملة في تحصيل  
اي شيء كان

مثال ذلك رجل له درجة ما من القوة واستعملها في نقل اي ثقل الى مسافة  
تبلغ مترا واعطى له في نظير ذلك فرنك واحد وآخر اقوى منه واشتغل قبله  
زمننا طويلا او كان اسرع منه سيرا نقل ضعف الثقل المتقدم الى تلك المسافة  
بعينها واعطى له في نظير ذلك فرنكان فهذان الفرنكان يدلان على ان هذه  
القوة ضعف المتقدمة فهذا هو كيفية استعمال النقود قياسا للقوة

فاذا فرضنا الا ان نأخذ ثلثا ثقل بواسطة آلة تما كالتقالة والعربة الصغيرة  
والجزارة الثقل المتقدم ثلاث مرات بدون ان يصرف من القوة اكثر من التي  
استعملها الرجل الاول الذي اخذ فرنكا واحدا في نظير نقل هذا الثقل مرة  
واحدة الى المسافة المذكورة فان هذا الرجل النقال الذي استعمل الآلة  
ياخذ ثلاثة فرنكات مع احتمال انه استعمل قوة دون التي استعملها الاول  
الذي اخذ فرنكا واحدا فعلى ذلك لاجل أن تكون النتيجة واحدة ينبغي  
أن يصرف احدهما قوة ~~تكون~~ اكبر من القوة التي صرفها الآخر  
ثلاث مرات

وعلى ما ذهب اليه المهندس مونتغولفيير يلزم أن تكون اجرة الرجلين  
المتقدمين واحدة حيث انهما احدهما عين النتيجة المتقدمة وأدنا من القوة  
مقدارا واحدا وان كان احدهما صرف قوة اكبر من التي صرفها الآخر  
ثلاث مرات

هذا والذي يجب على الميكانيكي أن يتصدى اليه من المسائل هو تحقيق جميع  
الحركات والانتقالات واشغال القنود بحيث اذا اريد تحصيل نتيجة مفروضة  
لا يستعمل في ذلك من القوة الممكنة الا كمية قليلة فبناء على ذلك يحصل

بواسطة كمية معلومة من القوى اليدوية مبلغ عظيم وهو اجرة النتيجة المطلوبة  
فهذه هي المسئلة التي الغرض الاصل من ميكانيكا الفنون حلها  
ثم ان القوة لا تظهر مجزأة التعادل والتوازن المتحصل بواسطة الانتقال  
التي بها تقاس هذه القوة بل تظهر بالحركات التي يلزم قياس مدتها  
وانما لم نعرض الآن الى تعريف الزمن والمدة لان تعريفنا اياهما لا يتضح به  
ما يتصوره كل انسان

وتستعمل الاجسام التي تقطع مسافات متساوية في ازمنة متساوية قياسا  
للمدة غير انه ربما استحال وجود مثل هذه الاجسام في الطبيعة ولا يمكن  
قد شاهد الراصدون ان الشمس ترجع بالنسبة لكل من نقط الارض الى  
مستور رأسي عند انتصاف الليل والنهار (والمستوى الرأسى هو المستوى  
الجانبي المتجه من الشمال الى الجنوب) وقسموا هذا الزمن الى اثني عشر جزءاً  
وسموها بالساعات وقسموا الساعة الى ستين دقيقة والدقيقة الى ستين ثانية  
وهلم جرا

وهذا القياس كاف بالنسبة لما تدعو اليه الحاجة عادة في الحياة الاهلية  
والامور المنزلية بخلاف ما تدعو اليه حاجة العلوم المضبوطة كعلمي الفلك  
والجغرافيا وكذلك ما تدعو اليه حاجة بعض الفنون كفن الملاحة فانه غير كاف  
لكون ايام السنة ليست متساوية لبعضها

فيجعل الفلكي وحدة قياسه الطول المتوسط من جميع ايام السنة ثم يقسم  
هذه الايام الفلكية تقسيماً ثانوياً الى ساعات ودقائق وثوان وغير ذلك والزمن  
الذي يعرف بواسطة هذه الاقيسة الاخيرة يسمى بالزمن المتوسط

ولما ظهرت الطريقة الجديدة المتعاقبة بالانتقال والاقيسة اختاروا لتقسيم  
السنة طريقة مصر وأيندا التي هي نزلة من نزل المصريين فقسموا السنة  
الى اثني عشر شهراً والشهر الى ثلاثة اجزاء كل منها عشرة ايام وزادوا في كل سنة  
خمس ايام على ٣٦٠ يوماً الحاصلة من ضرب ٣٦ في عشرة وزادوا  
كذلك في كل اربع سنين يوماً سادساً مكمل لايام السنة الرابعة فتكون السنة

على ذلك ٣٦٦ يوما وهي المسماة بالسنة الكبيسة  
فكانت هذه الطريقة اربع مما تقرر في زيج غرغوار من التقويم المخالف  
الغريب الناشئ من الاثني عشر شهرا التي منها ماهو ٢٨ يوما ومنها ماهو  
٢٩ ومنها ماهو ٣٠ ومنها ماهو ٣١ ومجموعها على ما في الزيج  
المذكور ٥٢ اسبوعا الا ان جميع النصارى يميلون الى تقسيم  
السنة بالاسبوع وايام البطالة والشغل المتعاقبة مع ان ذلك مخالف لقانون  
العبادة حيث انهم كانوا يجعلون رؤس العشرات للذمة والبطالة واشهر  
المواسم الدينية وعلى ما تقدم ينبغي ابقاء الايام على ما كانت عليه سابقا  
ولا يلزم استعمال تقسيمها بالعشرات الا في التجارة والحسابات العامة  
وحينئذ فليس هنالك ما يمنع تلك الطريقة الا موانع قليلة  
ولم يحفظ من تقسيم اليوم الى عشر ساعات والساعة الى مائة دقيقة والدقيقة  
الى مائة ثانية الا تقسيم العشرات والاثني عشر شهرا المتساوية  
وتم موانع كثيرة منعت من شمول هذا الحكم للاجزاء الاخرى من مجموع الانتقال  
والاقيسة ولاجل جعل الموانع التي تمنع من اختيار هذه الطريقة على منوال  
الحسابات يلزم أن نبين خطأ المدبرين الذين يحملون الناس على اختيار  
الطريقة المذكورة بمحض القوة والا كراه فتقول انهم كانوا دائما يخشون  
أن تذهب من بين ايديهم حكومتهم المضطربة التي لا ثبات لها فبادروا قبل  
كل شيء باجراء ما ينبغي عمله مع السهولة  
ومن العمليات الاولية تجديد سبك جميع النقود التي وحدتها الفرنك الطورى  
القديم واما النقود الجديدة فرحدتها الفرنك الجديد وقدمكثوا اكثر من خمس  
عشرة سنة في تجديد سبك نقود الفضة ولم يكمل الى الآن واما نقود الذهب  
فانها لم تبلغ الحد المطلوب الى ذلك الوقت  
وقد اخطأ مبتدعو طريقة الاقيسة الجديدة خطأ فاحشا حيث ابطلوا عموم  
استعمالها قبل أن يجددوا عددا كافيا من انواع الاقيسة فكان ذلك سببا  
في تعذر اجراء هذا القانون بدون واسطة

فبذلك صار التجار الذين الجأتهم الضرورة الى أن يبيعوا بمقتضى الاقيسة الجديدة مجبورين على أن يبيعوا بمقتضى الاقيسة القديمة نظرا الى ترغيب المشتريين فانهم يريدون ذراعا من الخوخ مثلا لامترا ورطلين من خبز لا كيلو غراما وزقمان من شحرا لثرا فهذا ما كانوا يفعلونه غالبا لاجل تطبيق الاقيسة الجديدة على القديمة ولا لاجل تعويل بعضها الى بعض

وقد تلاشى بعض هذه المضرات بتداول الأزمان وصارت الآن الطريقة الجديدة التي تخص النقود معلومة عند اغلب اهلها الى مملكة فرنسا ومجملاتها

وصار اهلها الى مدينتي باريس ونيوريس يستعملون الآن في قياس خشب الحريق الاستير دون غيره

واما الكيلوغرام فانه مستعمل عند كافة النقالين والتجار وامامه دار المتر فهو معروف معرفة تامة عند الشغالين من جميع الطوائف لكونه قياسا للمواضع

ومع ذلك فهناك بعض استثناءات مضرّة من اقيسة السعة وهي المكايل يربح زوالها

ولما تكلمنا على الجهالات والاهام الفاسدة ناسب أن نبين بعض صعوبات اخرى لا تعلق لها بأراء الناس وانما هي ناشئة من طبيعة الاشياء فيستعبط من ذلك البيان بعض معارف في الطرق التي يتم بها قبول طريقة الاقيسة الجديدة والعمل بها نقول

ثم يشق على الانسان أن يترك طريقة الاقيسة المستعملة منذ زمن طويل فان ضرر مبادئ الاختراع اكثر من نفعها واهي الصعوبات المذكورة وهي ان جميع الاشياء المستعملة في الفنون وعند الناس كالات الكبيرة والصغيرة ومواد التجارة والمنقولات والعمارات تتركب من الاصول التي عدتها التجربة والبراهين والحساب لتعيين الابعاد والاتقال والجحوم حتى ان الحافظة عت شيئا فشيئا الاعداد الدالة على الجحوم والاتقال والابعاد

المتقدمة المنسوبة الى وحدة القياس فاذا كان الصانع لا يتقبس معارفه من اوار العلوم كان علمه مقصورا على المعرفة المحلية المتعلقة بمقادير كل نوع بحيث اذا تغيرت وحدة القياس المعهودة له صارت معرفته العددية مقفودة بالكلية ولذا اراد اخذ قياس بعد صغير لزم له تحويلات وحسابات وضياح زمن وزيادة تعب ولكن الكسل عند هؤلاء الناس بمنزلة المحامي الفصيح مع ان الواقع خلافه فان تصوراتنا لا تخرج عن اللغة المستعملة عندنا بل اذا تعلمنا لغة اخرى فانه لا يمكن أن تتبع ما يدولنا فيها من التصورات المتعاقبة ولا تفصيلها وتقابل بينها زمنا طويلا بدون أن نراجع لغتنا الاعلمية مع الادراك والتعقل ولا شك ان هذه المعنونة ظهرت بالتجربة لعدة من الناس وبالجملة فقد يوجد من ذلك عمليات تتعلق به قولنا وذلك اننا اذا استعملنا وحدة القياس مرارا فانها ترسخ بقوة هذا الاستعمال في اذهاننا بمعنى اننا نرى في الفراغ مقدار هذه الوحدة الحقيقي ونعرف كيفية تطبيقه على الاشياء التي تصور صورتها فاكتساب هذه المعرفة حيث نأخذ من اعظم التقدّمات في ممارسة الفنون حيث يصير بها النظر هندسيا ويتعود على العمل المضبوط وبذلك يكون في غاية الكمال

ومما هو واقع الآن انك اذا اذمت من يعرف اي نوع من الاقيسة بتغيير آحاد قياسه فان كان من الناس المعتادين اي كبقية الرجال الذين لم يخرجوا عن العادة ضاعت منه معرفة الامتدادات بحيث اذا اطلع على طول القدم ظن انه يساوي طول ثلاثة اقدام وربما زاد عليه قيراطا واعتقد صحة هذا الطول ومع ذلك فلا يتصوره كتصور الوحيدة ولا يعرف كيفية تطبيقه على الاشياء حتى يحولها الى قياسه ولا يستعمل المتر وتقسيماته الثانوية الا اذا عرف من الاقدام مثلا ما يبلغه البعد الذي يظن انه مناسب لشيء من الاشياء ثم يرى ما تساويه هذه الاقدام من الامتار ولا يخفى ما في ذلك من المشقة والتطويل ولا ريب انه اذا استمر من له قريحة جيدة على هذا العمل مدة مديدة فان ذلك يحدث عنه اقيسة جديدة ولكن قلما يوجد من الناس

من يبيع عاجلا بأجل جيد ولو كان قريب الحصول جدا  
وقد اسلفنا آنفا الكيفية المهمة التي يستعملها العقل في عمليات الفنون  
ولما كان الناس عادة يميلون الى الاشياء البسيطة السهلة اجتهدوا في جعل  
جميع الاشياء على نسبة اولية بينها وبين الاقيسة المستعملة وفي التعبير  
بالاعداد الصحيحة عن الابعاد المستعملة عادة في الصناعة ويؤخذ من ذلك  
ان الانسان الذي لم يحسب مدة حياته قوة قطعة صغيرة من الحديد او الحجارة  
او الاخشاب لا يعرف هل مقدار قوتها يساوي ١٢ قيراطا او ١٢  
قيراطا و  $\frac{1}{4}$  او ١٢ قيراطا و  $\frac{1}{4}$  او ١٣ قيراطا فكيف يمكنه  
ان يعرف بمجرد النظر مناسبة اى بعد باقل من  $\frac{1}{4}$  تقريبا وحيث ان هذا  
التحديد المضبوط يفوق ما اعتاده عقله من العمليات لا يمكنه الوصول اليه  
فعلى ذلك ينبغي أن يكون قياس القطعة التي يستعملها قديما محكما لانه اصح  
جميع الاقيسة لكونه ابسطها وينقل هذا القياس غالبا من المعلم الى المتعلم  
وبتداول الايام تصير الاشياء كلها متوارثة في عمليات الصناعة والعوائد  
الحارية بين الناس لكن اذا تغيرت طريقة الاقيسة فان الاعداد الصحيحة  
في الطريقة الاولى لا تكون صحيحة في الثانية وبالجملة اذا كان الانسان يريد  
قدما من الطول لاجل قياس قطعة معه وكان قد رأى ان اباه او معلمه فرض  
لقياسها قديما فكيف يطلب منه انه يفرض لها قياسا آخر غير متر واحد منقسم  
الى ثلاثة احدى عشر من مائة واربعة واربعين من القدم ومائتين  
وسنة وتسعين من الف من مائة واربعة واربعين منه اى من القدم المذكور  
وبناء على ذلك اذا قال له بعض العارفين بالابعاد الحقيقية للقطعة المطلوب  
قياسها مثالا لا يصح أن يكون القياس المقروض لهذه القطعة اثني عشر قيراطا  
محولة الى امتار بل بحسب ما ظهر لى من العمليات المقتبسة من النظريات  
يكون ثلاثة دسمترات او ثلاثة دسمترات ونصف او نحو ذلك يظن ان قواعد قديمة  
تغيرت بالكلية

ومن المؤلفين الذين ذكروا في كتبهم الاقيسة الجديدة من بين مقادير الاشياء

بهذه الاقيسة و اضاف اليها نفس تلك المقادير بالاقيسة القديمة و حيث ان هذه الاقيسة القديمة مستعملة كثيرا عند معظم القراء نتج من ذلك ان المتولين بمطالعة تلك الكتب الذين يقتصرون على ما يكون من الاشياء قليل التعب لا يميلون الا الى الاقيسة القديمة دون غيرها

ويظهر لنا سبب آخر جدير بالذكر هنا و حاصله انه حيث لم يكن ادرالك الحافظة الاجمرد تخيل لزم ضبط المقادير المذكورة في اللغة المستعملة عندنا بكثرة و بلهول هذا السبب رأينا كثيرا من الناس من يعتقدان ضبط الاقيسة الجديدة اصعب من ضبط المقادير المتساوية المبينة بالعنوان القديم بل انققت كلنهم على تأييد هذا التفضيل و كلما كانت المقادير مبينة باعداد بسيطة او صحيحة من الاقيسة القديمة نشأ من الاقيسة الجديدة التي تكاد تكون صماء مع الاقيسة الاخرى القديمة اعداد صعبة و ربما كانت المقابلة التي يلجأ اليها القارئ بين هذه المقادير المتقاربة من بعضها معضدة لاتفح الطريقتين

ومن المؤلفين من اقتصر في تأليفه على الاقيسة الجديدة دون غيرها الا انهم لم يراوا في الغالب يقتدون بسلفهم من المؤلفين في كونهم يعملون جميع العمليات الاصلية على مقتضى الاقيسة القديمة فنشأ عن ذلك انهم عوضا عن أن يحصل معهم من الاقيسة الجديدة اعداد صحيحة لم يحصل معهم الا كسور و صاوها الى درجات تقريبية لا جدوى لها لكونهم تجاوزوا حد العصاة في كل من انواع العمليات

فعلى ذلك كان يلزم في جميع الفنون عند اختراع الاقيسة الجديدة عمل جداول جديدة تكون صحيحة الاعداد على مقتضى الاقيسة المذكورة لانه يحدث عنها المعلومات و الحواصل الضرورية التي تكون المعلومات فيها نتائج لازمة فاذن تكون منافع اختيار الطريقة الجديدة كثيرة و مضارها قليلة يمكن ازالتها في قليل من الزمن

وينبغي أن نشرح هذه التصورات شرحا موضحا فنقول اذا كان هنالك متبصرة في صناعة من الصناعات لزم ان الفنون التي

تتركب هي منها تكون مرتبطة ببعضها ارتباطا كلياً وقل من هذه الفنون ما لا يستمد من غيره آلات ومواد أولية بل منها ما الغرض الأصلي منه كفاية هذه الحاجة وتلك الفنون هي التي ينبغي اعتبارها ومراعاتها دون غيرها والتي يجب ادخال طريقة الاقيسة الجديدة فيها بجميع ما يمكن من الوسائط مع تحويل سائر المقادير وسائر ابعاد محصولاتها الى اعداد صحيحة بالنسبة الى تلك الاقيسة فعلى ذلك كان يلزم اما أن تكسر انواع الصب والمساحب والقوالب او تنتظرها حتى تنكسر بنفسها وتعملها ثانياً على موجب طريقة الاقيسة الجديدة ثم يلزم ان الصنائعية لا يعملونها الا اذا وفوا بجميع الشروط اللازمة وقد يكون ذلك في الاقيسة مثلاً بأن يفرض لها متر واحد او ٥ او ٦ او ٧ دسمترات من العرض وبالجمله فكان على من ادخل طريقة الاقيسة الجديدة في الفنون أن يمارس ادنى تفاصيل تلك الفنون ويعانيتها مع التؤدة والتأني ولا شك ان ذلك فيه من المشقة ما لا مزيد عليه ومنفعته تفوق روثقه لكن يكفي من تصدى اليه من المؤلفين النجاح فيه وبلوغ المرام وتقصيل الشرف التام

ولنشرع الآن في ذكر امثله صحيحة توضح ما سبق من الامور العامة فنقول اذا كانت الاقيسة الجديدة مختارة في بعض الجهات فان ذلك انما يكون حقيقياً في اشغال المصالح العامة لان المنوط بهار جال لهم اليد الطولى في المعارف وحيث ان هؤلاء الرجال بالنظر اصناعتهم اهم ارتباط بالحكومة التي يأخذون منها ادوات الهندسة ~~كانوا~~ بالضرورة هم الذين يخترعون وينشرون رسوم تلك الحكومة المتعلقة بالفنون ولتبحث فيما نحن بصده عن الدرجة التي وصلوا اليها في تلك الرسوم فنقول

لما كان مهندسو الجهادية والقناطر والجسور مجبورين بطبيعة اشغالهم وخدمهم على عمل جله عظمية من الحسابات وتحقيقها استحسنوا أن يتركوا من الطرق ما تكون به الحسابات صعبة وغير منتظمة ليبادروا بالاصطلاح على طريقة اخرى سهلة منتظمة كطريقة الاقيسة الاعشارية فخذدوا



جدول مقادير اشغالهم بالاقيسة الجديدة ولم يعرفوا غيرها  
وقد تقدمت الهندسة البحرية في هذا المعنى تقدما بطياً بالكلية فانه ظهر  
مع المشقة بعد اربع سنين جدول ابعاد الاخشاب بالاقيسة الجديدة  
ومع ما يوجد في هذه العملية الاولى من العيوب التي لاتعد ولا تحصى  
**كتطويل العمل جدا في تكعيب كمية عظيمة من الاخشاب اللازمة**  
**لعمارة السفن اذا اقتضى الحال تكعيبها بموجب الاقدام والقراريط ونحو ذلك**  
بخلاف التكعيبات المترية لظهور سهولتها فالأخشاب الواردة لا تقاس  
الا بالاقيسة الجديدة في مينات الدولة لكن يلزم لاجل تطبيق الاقيسة الجديدة  
على فن عمارة السفن بذل الهمة والتغفل الحسيم ويلزم ايضا عمل قوائم  
تتضمن مصاريق السفن والقراقيط وسائر انواع السفن باعداد صحيحة  
مع بيان الابعاد المحولة لكل قطعة من اجزاء السفينة على وجه التفصيل  
وبالجملة فيلزم نشر هذا الشغل الحسيم في جميع القنون البحرية وهي التي  
تكون محصولاتها عند المهندس اصلا لاشغاله كالصواري والخيال والبكر  
والسرعات وغير ذلك وحيث انهم لم يجروا هذه العمليات الاولى اصلا  
ترتب على ذلك انهم استعملوا المتر في المينات القرنجية زمنا طويلا ثم قسموه  
تقسما ثانويا الى اقدام وصار العمل على تلك الاقدام وهذه الاقيسة ذات  
الوجهين هي عين ما في الكتب المتقدمة قريبا التي ذكرت فيها الاقيسة منى  
على وجه بحيث لا يراجع فيها الا الاقيسة القديمة

ولكن لما صارت السفن والقبائل تحت ادارة الملتزم **كليرمونت فونير**  
وكان من اقدم تلامذة مدرسة المهندس خزانة القرنجية حصل في ذلك تغيير  
عظيم وذلك انه صدر عنه امر بانه من الآن فصاعدا لا ينبغي أن تستعمل  
الاقيسة القديمة في مينات **فرانسا** ولا ترساناتها ولا في القبائل وحكم  
بابطال الاقيسة التي تدل من جهة على تقسيمات الاقيسة القديمة ومن اخرى  
على تقسيمات الاقيسة الجديدة فانظر الى هذا المنافع البطيئة المحققة الناشئة  
عن المدارس العظيمة التي يكسب منها الشبان معارف متسعة متينة لكونها

تؤثر فيهم تأثيرا يزداد على ممر السنين حتى يكون فيهم استعداد الحكم بعدتهم  
 دروسهم بهذه المثابة ويحصل بهم قمع لم يكن يعرف قبل ذلك  
 ومن المصالح العامة ما يكون فيه تأثير الموانع الآتية اقوى من تأثيرها  
 في غيره وذلك ان الاصل الذي يتعلق به ماعده من الاصول في فن الطوبجية  
 هو ثقل الكلة او عيارها واما اقيسة المدافع وجنساتاتها وذخيرتها وعرباتها  
 فذلك كله نتيجة ضرورية من ذلك الاصل غير ان انتقال الكلال المينة باعداد  
 صحيحة بالنسبة للاقيسة القديمة لا تكون باقية على حالها بالنسبة للاقيسة  
 الجديدة وعليه فما تسمى مثلا المدافع التي عيارها ٢٤ رطلا من الرصاص  
 فلا يصح أن يقال لها مدافع من التي عيارها ١٢ كيلو غراما لان ذلك  
 من قبيل الخطأ فان ١٢ كيلو غراما اكبر من ٢٤ رطلا ولا يصح ايضا  
 أن تسمى بالمدافع التي عيارها ١١ كيلو غراما لان ذلك من قبيل الخطأ  
 ايضا فان ١١ كيلو غراما اصغر من ٢٤ رطلا فاذا سميت بمدافع  
 عيارها ١١ او ١٢ كيلو غراما كانت هذه التسمية فاسدة وعليه  
 فتكون تسمية ذخيرتها وجميع معلوماتها المرتبة بموجب انتقال الكلة  
 فاسدة ايضا وهذه المشكلات محققة لاختفاء فيها زمن المعلوم ان صناعة  
 المدافع والكلل مع الاتقان والسرعة لا تمنع من زيادة ثقل الكلل فربما تجاوز  
 هذا الثقل عدد الارطال المين لعيارها وبذلك يقرب العدد المذكور المين  
 اعيار الابوس والمدافع من نصف الكيلوغرامات  
 ولما ظهرت طريقة الاقيسة الجديدة لم يظهر في فن الطوبجية من الاحوال  
 ما يحصل فيه قابلية لأن يحدث فيه تغير عام فاذا اخذت الطريقة العسكرية  
 الفرنجية في اتساع جديد ولزم لها انشاء معامل ومسابك لم تكن موجودة  
 في الاقيسة القديمة التي كانت آلاتها اذذاك غير معروفة في المصالح  
 لاتساع الانتقال وتقدمها على وجه لم يكن قبل ذلك فلم لاتصنع معامل  
 جديدة بموجب معايير ٤ انصاف كيلو غرامات او ٦ او ٨ الخ  
 عوضا عن أن تصنع بموجب معايير ٤ ارطال او ٦ او ٨ الخ فان

صنعها بموجب المعايير الاولى يترتب عليه في امر ع وقت كثيرة عدد المدافع  
الجديدة حتى لا تمكن المضاهاة بينهما وبين المدافع القديمة ويحصل من الاعتناء  
بهذا الامر ابطال الاقيسة القديمة وخروجها عن الخدمة العسكرية  
بالكلية وبذلك يحصل تغير عظيم في الاقيسة بدون أن ينشأ عنه تلف  
ولا بذل جهد فاذا كان يخشى من كثرة المعايير الوقفية التي هي نتيجة  
هذا الابتداء فلا شك انه يمكن أن تجعل اسلحة بعض الحصون وبعض الجيوش  
من المدافع القديمة واسلحة الاخر من الجديدة لان هذه التغيرات تستدعي  
ضرورة نقل بعض المدافع غير انه عند نقل المدافع القديمة من الحصون المأمونة  
الى الحصون المخوفة او الايات العساكر المتقلة وكذلك عند نقل مدافع المعامل  
الجديدة الى الحواصل والجحانات والحصون التي تكون قليلة الخطر ونقل  
المعايير القديمة البحرية دائما الى السفن والمحافظة بالجديدة على السواحل  
ثم على جحوانات الميناءات العظيمة يحدث من التأثير الطبيعي للعرب تغير لا يعد  
غريبا الا عند ذوى العقول القاصرة

فان قيل هل هذا التغير يمكن الآن قلنا نعم لا مانع منه فان هذه الوسائط  
بهيمن اقوال على عمر الازمان الى نتائج واحدة ويكفي في ذلك تغيير قطر  
آلة ثقب المدافع تغييرا لا ثقا وما بقي يتغير بنفسه

وبالجملة فلا مانع من ادخال اقيسة الامتداد الجديدة في فن الطوبجية سواء  
حصل تغييرا ولم يحصل ولا ارتباط لهذه الاقيسة بصنخ الانتقال وليست معايير  
المدافع التي قدرها ٤ اراطال او ٦ او ٨ الخ مبنية باعداد صحيحة  
من القرار يط كما انهم تبن بالستمر وكذلك بعض مقاييس اخرى وربما كانت  
هذه العملية عظيمة اذا كان احذضباط هذه الاسلحة الشهيرة يقوم الاقيسة  
التدريجية الثابتة بالممارسة كالميكانيكي والمهندس ويحولها الى الاقيسة الجديدة  
باعداد بسيطة فان ذلك لا يخلو عن فائدة ولا شك ان هذه التقدّمات هي نتيجة  
هذا المشروع النقيس وتداول الازمان والفوائد الطبيعية التي تحدث عن هذا  
الشغل تجبر جميع الجيوش على اختيار الاقيسة المذكورة ولا بد انه فيايد

يترتب على صحة المعايير تقدم في اشغال فن الطوبجية  
 فاذا استعملت الاقيسة الجديدة في المصالح العامة وصارت مقبولة فيها كان لها  
 بذلك دخل في بقية الاشغال العامة وجميع الفنون المدنية المرتبطة بها ارتباطاً  
 ضرورياً وهي مجموع الفنون الرياضية تقريباً وقد كانت مستعملة قبل ذلك  
 في فنون الكيمياء مع الفائدة التامة فان معظم من مارسوا اشغال هذه الفنون  
 المتنوعة كانوا ينشرون ما اكتسبوه من المعارف شيئاً فشيئاً ويتداول الايام  
 نزول الموانع الاخرى  
 ولما فرغنا من الكلام على ما يترتب على التغيير الحاصل في مقدار الاقيسة  
 من الصعوبات وجب الآن أن نشرع في ذكر صعوبات تغيير العنوان  
 ولنذكرها في مبادئ هذا الدرس فنقول

### \*( الدرس الثاني ) \*

في بيان ما بقى من الاقيسة وفي قوانين التحريك الاولى وتطبيقها  
 على الآلات

قد تقدم ما يقضى بصحة الادلة التي بها اختيرت العناوين المستنبطة من اللغات  
 القديمة وقد كانت هذه الادلة في غاية الدقة والغموض بحيث لم يدركها اجم غفير  
 من الناس حتى قالوا فيما بينهم لم يختاروا هذه الاسماء التي لا يعلم تأويلها  
 الا الجهابذة الراسخون في العلم لم يكن لهم ما يحدث عن كل تغيير يحصل في مقدار  
 الاقيسة من المشكلات القوية مع قطع النظر عما يتولد عن العناوين الجديدة  
 من الموانع وهل مثل هذه الاصطلاحات لكافة الناس بل لا مانع انه كلما سلك  
 الانسان في التعبير عن المكرر وقاسمه بالفاظ مركبة من كلمتين دالتين على نوع  
 الوحدة واختصارها طريق الدقة والغموض كانت هذه الالفاظ الغير الجلية  
 اسرع الى النسيان وعدم الرسوخ في الذهن فيختلط عليه دائماً هذه الالفاظ  
 الكثيرة المنتمية بكلمة واحدة نحو ملجتر و سستمر و دستمر ولكن من ذا الذي  
 يرى ان مثل هذه الاعتراضات الواهية تظهر على الحقيقة والصواب في الولايات  
 التي ينبغي لها المباشرة والتفاخر بوضع قواعد الاقيسة المستحسنة العظيمة

واذا لم يندل الجهد في تأييد ما ذهبنا اليه في شأن الاقيسة حتى تكون مقبولة  
عند جميع الملل فهل ما عدنا من الملل يؤيد هذا المذهب الذي لا ينسب اليه  
هذا ولا مانع أن نضيف الى تلك الادلة التي لا يربحها الاقليل من ارباب  
العقول هذه الادلة وهي انك اذا لم تغير اسم الاقيسة التي تركتها فكيف تغير  
المقادير المبينة اولا بالاقيسة القديمة ثم بالاقيسة الجديدة وهل يحصل ذلك  
الابواسطة كتابة اقيسة قديمة واثنية جديدة دائما ولكن الكسل بعث الناس  
على الاختصار على انصاف الاسماء الوجيزة الدالة على الاقيسة فانك ترى  
بعض تجار القريج اجتنابا بالعمل المشقة في النطق بجميع حروف كيلوغرام  
مثلا يقتصرون على صدرها فيقولون كيلو فعلى ذلك لو سلوكوا هذا المثل  
في الكيلوتر والكيلومتر لقالوا فيها ايضا كيلو وبذلك لا يعرفون ما ارادوه  
بهذه الكلمة واما نحن معاشر الرياضيين فكلنا منا مفيد لالبس فيه بحيث  
لا يعوقنا عن المرام مثل هذا الالتباس الهين فيكتفى حينئذ باطلاق اسم  
القدم على القدم القديم او ثلث المتر تقريبا ومن هنا يقع خلطنا فيما اوقعنا فيه  
اقيسة سلفنا غالبا من الحيرة وعدم الوقوف على الحقيقة \* مثال ذلك استعمالهم  
لفظة غلوة التي هي على اربعة انواع بدون أن يميزوا المراد من تلك الانواع  
فانا لا ندري بايها قدرت المسافات التي نراها في كتبهم \* فهذا هو الغرض  
الذي نصدينا اليه وفاء بما يجب علينا لخلقنا وكيف يصح ان الاسماء المصطلح عليها  
في علم من العلوم يعسر حفظها وثباتها في الذهن اذا كانت مركبة من خمس  
عشرة كلمة فصاعدا وليس اتانود المبالغة في صعوبة مثل ذلك حتى تقتصر بانه  
من قبيل المجتزأ الذي لا يبارى ولا يغلب وهل ينكر ان تقدم العلوم منذ قرن كان  
سببا في استعمال كثير من الاصطلاحات الماخوذة من اللغة اليونانية  
وادخالها في العرف الخاص والعام فمن ذا الذي لا يعرف البارومتر والترمومتر  
وكيف يسهل حفظ هذين الاسمين دون الكيلومتر مثلا

وهل ثم من الصبيان من لا يحفظ عدة اسماء صعبة مثل كسموراما وديوراما  
وبانوراما وحيوراما وشمسغوري ويعرفها بمدلولاتها حق المعرفة

فأوجه صعوبتها دون متر ودستور ونحوهما إلا أنها لا تدل إلا على الصور والظلال القابلة للتغير القريبة الزوال من الذهن بخلاف المتر وفروعه فإنها تدل دائما على الأطوال المادية التي يمكن تناولها باليد ومساها ورسوخها بمجرد الوقوف عليها بحيث لا يعتريها بعد ذلك تغير ولا زوال ولنعترف الآن أننا قد انبأنا بما كنا واعتناؤنا بما لا يجدي نفعا من أمور اللهو واللعب نتكاسل عن الالتفات إلى ما لا بد منه في حاجتنا الضرورية ولا حاجة إلى البحث عن أسماء مهملة اجنبية من القن فهي سهلة الحفظ حيث يوجد إلى الآن الفاظ كثيرة مصطلح عليها في الكيمياء عند جميع الفرق فإن بعض من لا يعول عليهم من أرباب العقاقير والجراحين الذين في الأرياف لم يزلوا إلى الآن يعرفون أصول هذه الألفاظ ومع ذلك فلما همل الكيمائيون من الفرنسيين والافاظ العلمية النفيسة ليسهل تناولها على أرباب العقاقير ومن يدعى معرفة الجراحة من جراحى الأرياف وكذلك لوسلك هذا المسلك أهل النجس والإطاليا والانسكلز واصطلحوا على الفاظ توافق لغاتهم لتتنوع الاصطلاحات العلمية التي من شأنها الوحدة إلى أنواع عديدة ملتبسة ببعضها لکنهم شرعوا في مشروعات محدودة حيث اصلحوا وحرروا ما لا يحصى من الألفاظ الاصطلاحية في ظرف عشر سنوات صارت هذه الألفاظ مقبولة مستعملة عند سائر الأمم التي تمارس العلوم الطبيعية وبما يجب التفهيم عليه زيادة على ذلك أن هؤلاء العلماء المشعربين من ساعد الجد والاجتهاد أخذوا في تجديد علومهم كلها بدون التفات إلى ما يشبههم عن ذلك وعليه فبازم تجديد علم الأقبية بسائر أنواعه وفروعه وهذا هو الغرض من كلا منا سابقا ولاحقا

وكما أن الكيمائيين لما اعتنوا ثانيا بجميع الحوادث ليبتدوا مع الضبط نسب القواعد الناشئة عنها تلك الحوادث كان ذلك وسيلة إلى استكشافات كثيرة جدا كذلك إذا صنع الإنسان جداول مضبوطة تحتوي على سائر أنواع المقادير التي تكون عبارة عن معلومات الفنون كان ذلك أيضا واسطة

في وصول العلم الى درجات الكمال وتطبيق العمليات على قواعد حسابية لم يكن جرى فيما ذلك من قبل فتكون هذه الاشغال منشأ للتقدمات المستقبلية

\*( بيان قوانين التحرك الاولى ) \*

يظهر من رصد الاجسام المتحركة على الارض ومن مجموع الكواكب السيارة عدة قواعد اصلية ينبغي ذكرها هنا ليتفرع عليها البيان الاتي فنقول (اولا) اذا لم يعرض للجسم الساكن شيء يحركه فانه يستمر على سكونه لانه في هذه الحالة لا مقتضى لحركته في جهة ما فعلى ذلك اذا اتصف الجسم بالحركة بعد السكون فلا بد أن يكون قد عرض له سبب اوجب تحركه الى احدى الجهات وهذا العارض هو المسمى بالقوة والغرض الاصل من علم الميكانيكا هو معرفة كيفية تأثير القوى في الاجسام المنفردة او المرتبطة ببعضها بالنظر لاوزاعها وصورها

(ثانيا) اذا اخذ جسم في التحرك في اتجاه ما بسرعة ما فاذا لم يكن هناك ما يمنع تحركه استمر على الحركة في هذا الاتجاه مع السرعة المذكورة بمعنى انه يقطع مسافات متساوية في ازمة متساوية وهذا ما يسمى بالتحرك المنتظم او المنتسق

ومتى غير هذا الجسم اتجاهه او سرعته فان التجربة تدل على ان هذا التغير حاصل من تأثير موافق ومخالف واقع من قوة جديدة

وكذلك اذا كان الجسم الجامد العادم للحركة غير قابل للتحرك فانه يعلم من ذلك انه لا يقبل الحركة بمال فعلى ذلك اذا كان الجسم الجامد متحركا فانه يستمر على حركته بمعنى انه يقطع في اتجاه واحد مسافات متساوية في زمن واحد \* والسرعة هي النسبة التي بين المسافة المقطوعة والزمن

مثلا اذا جعلت الدقيقة وحدة للزمن والمتر وحدة للطول يقال ان الجسم الذي يقطع مترا في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ١ والجسم الذي يقطع مترين في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ٢ والجسم الذي يقطع ثلاثة امتار في دقيقة واحدة يتحرك بسرعة ٣ وهكذا

وقد دلت التجربة ايضا على دعوى اخرى شهيرة جدا وهي انه يحدث عن قوتين واقعتين على جسم واحد في اتجاه واحد (كفرسين مربوطين في قطار واحد بلترعربة مثلا) عين التأثير الحادث من قوة واحدة مساوية لمجموع هاتين القوتين واقعة على الجسم المذكور في اتجاه واحد ايضا وهذه القوة هي التي يطلق عليها اسم المحصلة لانها متحصلة من قوتين اخريين يسميان بالمركبتين اولانه يتحصل منها عين النتيجة المتحصلة من هاتين المركبتين واما في صورة العكس وهي ما اذا كان قوتان واقعتين على جسم واحد في اتجاه واحد ~~لكن~~ في جهتين متضادتين فان الجسم يتحرك كالمال كان مندفعاً بقوة واحدة بمحصلة مساوية لفاضل القوتين المركبتين ومتجهة الى جهة كبراهما

وعلى ذلك يشاهدان العربجية عند الهبوط بالسرعة يحلون الفرس من أمام العربّة ويربطونه خلفها ليجزّها القهقري وفي هذه الصورة لا تكون القوة المحركة الا كقوة فرس آخر يجزّها الى الامام ناقصة قوة الفرس الذي يجزّها الى خلف عوضا عن أن تكون هذه القوة اعنى المحركة قوة فرسين

\*( بيان التوازن )\*

اذا كانت القوة الجاذبة الى جهة الخلف مساوية للقوة الجاذبة الى جهة الامام فان فاضلهما يكون صفرا ولا يتحرك الجسم الى جهة احدهما ولا الى جهة الاخرى ومن ذلك يحدث ما يسمى بالتوازن اعنى بالسكون القهري وهي حالة مخالفة للسكون الطبيعي الذي يكون باقيا على حالة واحدة ما لم يؤثر في الجسم قوة تجبره على التحرك

فاذا كانت محصلة عدّة قوى يضا دها قوة جديدة مساوية لها ومتجهة الى جهة مضادة لجهتها فانه يحدث من ذلك توازن وهذه قاعدة شهيرة جيدة تسوّغ ضم المسائل التي يكون الغرض منها البحث عن النتائج التي يحدث بها التحرك الى مسائل التوازن

وعوضا عن اعتبار قوتين مؤثرتين دون غيرهما في اتجاه واحد ~~يمكن~~



اعتبار ٣ او ٤ او ٥ الخ او عدد ما من القوى وحيتئذ يلزم لاجل  
تخصيل المصلحة امران احدهما اخذ مجموع سائر القوى التي تجذب او تدفع  
الى جهة الامام فاقبهما اخذ مجموع سائر القوى التي تجذب او تدفع الى جهة  
الخلف وبذلك يتحرك الجسم في جهة المجموع الاكبر كما يكون مدفوعا  
او مجذوبا بقوة واحدة مساوية لفاضل هذين المجموعين

(ولنفرض مثلا عربة حل بحرورة بثمانية افراس في قطار واحد في كانت جميع  
هذه الافراس مربوطة كلها اجهة الامام فان العربة تكون بحرورة بقوة فرس  
واحد مساوية لقوة الافراس الثمانية ثم اذا حل العربي ثلاثة من هذه  
الافراس مثلا وربطها خلف العربة لتجربها القهقري فان التحرك الكلي  
يكون اولا حين ما اذا كان هنالك فرس واحد مربوط في جهة الامام قوته  
مساوية لقوة الافراس الخمسة وفرس آخر مربوط في جهة الخلف قوته  
مساوية لقوة الافراس الثلاثة المذكورة وثانيا يكون مساويا ايضا  
للتحرك الحادث من فرس واحد قوته مساوية لفاضل الافراس الخمسة  
المربوطة في جهة الامام والثلاثة المربوطة في جهة الخلف وهذا التحرك  
بالضرورة يكون واقعا في جهة خمسة الافراس اذا كانت قوتها متساوية)

وما ينبغي حفظه والاهتمام به قاعدة نالتة وهي اذا لزم قوة ما التحرك جسم  
بسرعة ما اعنى لنقله الى مسافة معلومة في زمن معلوم فنصف هذه القوة  
لا يتقل الجسم المذكور في هذا الزمن الا الى نصف المسافة المذكورة  
وثلاثها لا يتقله الا الى ثلثها وربيعها لا يتقله الا الى ربعها وهكذا دائما مع تناسب  
واحد

وكذلك في صورة العكس وهي ما اذا كانت مدة الزمن ثابتة بالفرض فان  
ضعف القوة يتقل الجسم المتقدم الى ضعف المسافة المتقدمة وثلاثة امثال  
هذه القوة تنقله الى ثلاثة امثال المسافة واربعه امثالها تنقله الى اربعة امثالها  
وهلم جرا

فاذا بقيت القوة ثابتة وتغير مجسم الجسم نشاعن ذلك ما سنذكره

وهو انه في مدة هذا الزمن تنقل القوة الثابتة ضعف الجسم الى نصف المسافة وتنقل ثلاثة امثال الجسم الى ثلث المسافة واربعة امثال الجسم الى ربعها وهكذا وكذلك تنقل القوة الثابتة نصف الجسم الى ضعف المسافة وثلاثة الى ثلاثة امثالها وربعة الى اربعة امثالها في نسبة واحدة دائما

ويؤخذ من ذلك ان المجسمات الكبيرة اصعب في التحرك من المجسمات الصغيرة وهذه المقاومة مناسبة للجسم تناسبيا مضبوطا بحيث تكون المقاومة مع القوة المستعملة في تحركه واحد مناسبة للجسم دائما  
وحينئذ يوجد في المادة تضاد بين التحرك والسرعة وهو مناسب للجسم وهذا التضاد الذي ينبغي ابطاله هو المسمى بالانرسى (اي الحالة الذاتية للجسم)

ويكون الانرسى المذكور في غاية الظهور عند مقابلة الجهود التي تبذل في تحريك الاجسام الكبيرة والصغيرة ببعضها وذلك ان الطفل الصغير مثلا يحذف بعيدا عنه بعدا كافيا حصوة صغيرة وحبات من الرمل بخلاف الرجال الاقوياء فانه يمكنهم عند جمع قواهم في زمن واحد أن يحركوا بقرط واحد حملا ثقيل او قطعة من الرخام مثلا  
ولننبه هنا على الكيفية القطعية التي بها يمكن ان تحصل من القوة نتيجة واحدة بطرق مختلفة فنقول

يمكن قطع الجسم المطلوب نقله الى اجزاء متساوية كاثنتين او ٣ او ٤ الخ ثم توقع القوة بتامها على كل من هذه الاجزاء فاذا قطع الى جزئين متساويين مثلا فان كلا منهما يتقل بسرعة مضعفة فاذن يكون الجزء آن المذكور ان منقولين في زمن واحد كلتي فاذا قطع الى ثلاثة اجزاء متساوية فان كل ثلث يتقل بثلاثة امثال السرعة فاذن تكون الاثلاث الثلاثة منقولة في نفس الزمن الكلي وهكذا

فاذا فرض حينئذ ان هناك عشرين حملا متساوية في الجسم ولزم نقل كل منها

الى مسافة معلومة بواسطة ٢٠ قوة متساوية فاذا وصلت هذه الاجمال  
بعضها مئتي وقلت بقوى متصلة ببعضها مئتي ايضا فانه يحدث للنقل ١٠  
طرق عوضا عن ٢٠ الا ان العشرين جسما تكون منقولة دائما الى مسافة  
واحدة في زمن واحد وقد يحصل مثل ذلك ايضا اذا وصلت الاجمال ببعضها  
ثلاث اى ثلاثة ثلاثة اور باع اى اربعة اربعة وقلت بالقوى المتصلة ببعضها  
ثلاث اور باع ايضا

فلذلك كان على حد سواء (بالنظر الى التقويم الميكانيكى) نقل الثقل الكلى  
المذكور في عربات بفرس واحد او ٢ او ٣ او ٤ بشرط أن تكون  
اجمالها يحمل فرس او ٢ او ٣ او ٤ الخ ويكون الثقل الكلى  
منقولاً دائماً بواسطة العربات الى مسافة واحدة في زمن واحد وهذا هو  
سبب كون النة الذين يدفعون احره معينة بالكيلوغرام في نظير النقل سواء كان  
الحمل يزن قليلا او كثيرا من الكيلوغرام لان القوة الكلية التى يلزم استعمالها  
في النقل مناسبة للثقل الكلى من الاشياء المنقولة وبالجملة فهذا هو السبب  
في ان النقالين ~~كانوا~~ يدفعون للعربية اجرة واحدة على حسب تقويم  
الكيلوغرام سواء كان العربجية يستعملون في ذلك عربات بفرس واحد  
او ٢ او ٣ او ٤ الخ لان الثقل الكلى المنقول بكل عربة مناسب  
للقوة الكلية للخيول المربوطة في العربة

ولاجل تحصيل تصرف القوى التى يستلزمها الجسم المنقول الى مسافة  
معلومة يلزم تقويم هذا التصرف اولا بموجب ثقل الجسم المذكور وثانيا  
بموجب السرعة المعدّة لقطع المسافة المذكورة فيكون حاصل هذا التقويم  
دالا على كمية التحرك

وقد يتقوم الثقل بالكيلوغرامات والزمن بالساعات فاذا كان كيلوغرام  
واحد يقطع المسافة الماخوذة واحدة في ساعة واحدة كانت كمية التحرك = ١  
واذا كان ١٠ كيلوغرامات او ١٠٠ او ١٠٠٠ تقطع وحدة  
المسافة في ساعة واحدة فانها تؤدى كمية التحرك المبينة مرة واحدة

باعداد ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ  
واذا كان كيلوغرام ١ او ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ تقطع  
المسافة مرتين في ساعة واحدة فانها تؤدى كمية التحرك المبنية مرتين باعداد  
١ او ١٠ او ١٠٠ او ١٠٠٠ الخ من الكيلوغرام  
وانما اكرت هنا من ذكر الامثلة لما انها توضح ايضا احاد التعريفات  
التي ينبغي تسهيلها بقدر الامكان

ولتسكلم قبل التوغل فيما نحن بصدده على قوانين السكون والتحرك التي سبق  
تعريفها فريي انذكرها على وجه اجمال فنقول  
كل جسم ساكن يبقى على حاله ما لم تجبره على التحرك قوة واحدة او قوى  
متعددة

وكل جسم متحرك يبقى على حاله ما لم تعرض له قوة تمنعه من الحركة  
وكل جسم متحرك تابع لمستقيم واحد يقطع مسافات متساوية في ازمته  
متساوية ما لم تعرض له قوة اجنبية تغير ثبات تحركه وانتظامه وهذا التحرك  
هو المسمى بالتحرك المنتظم او المنتسق  
والسرعة هي النسبة الحاصلة بين المسافة المقطوعة على وجه الانتظام  
وزمن قطعها

فاذا كان زمن قطع المسافة ثابتا فالسرعة المخفضة ثلثي وثلاث ورباع تكون  
كالسافة وقد تكون ايضا على النصف او الثلث او الربع ونحو ذلك بحسب  
تقسيم هذا الزمن وبالجملة فهي مناسبة دائما للمسافة تناسباً مطردا  
واذا كانت المسافة المقطوعة ثابتة فكلما كان زمن قطعها كبيرا كانت  
السرعة صغيرة وحيث تكون نسبتها معكسة انعكاسا كلياً بمعنى انه اذا كان  
الزمن مضاعفاً ثلثي وثلاث ورباع كانت السرعة على النصف من ذلك او الثلث  
او الربع وهكذا

واذا كانت السرعة ثابتة فالمسافة المقطوعة تكون مناسبة للزمن تناسباً  
مطردا بمعنى انها تزيد وتنقص بنسبة واحدة

وفي التحرك المنتظم تكون القوة مناسبة لجسم الجسم مضروبا في السرعة  
وانا تحركت الاجسام بدون مقاومة فمن حيث كونها متحركة في فراغ عظيم  
تكون باقولة دفعة مستمرة على تحركها بسرعة واحدة في اتجاه واحد  
ولكن يعرض على الارض في كل وقت كثير من الموانع والاحتكاكات  
والمقاومات فتتبع دوام تحرك تلك الاجسام  
فاذا تحرك الجسم تحركا متساويا نجد ان هذا التحرك يتقص بالتدريج ويؤول  
امره الى الانعدام

مثلا اذا لعب اناس بالكرة فلولوا احتكاك الارض ومقاومة الهواء كانت  
هذه الكرة مجردة طرحتها على مستواقي تتدحرج بدون أن تنقص سرعتها  
لكن لا يخفى ان هذه السرعة تنقص على المستويات المصقولة وان بلغت  
في الصقالة ما بلغت وتنعدم في اسرع وقت  
وعليه فيلزم لاجل استمرار التحرك بالنسبة للفنون أن يضاف في كل وقت  
الى قوة الاجسام المتحركة قوى جديدة

مثلا اذا كان المطلوب نقل احمال في الطرق فلا يمكن في ذلك أن تحرك  
هذه الاجسام مطلقا تحرك بل يلزم تعويض ما انعدم بالمقاومات في كل وقت  
وهو الذي يمكن تحصيله بواسطة الناس او الحيوانات المعدة لجر تلك الاحمال  
وتكون كمية القوى التي يلزم استعمالها في كل وقت مساوية بداهة للقوة  
المعدومة في الوقت المذكور وينبغي أن نعتبر أن مجموع ازيادة القوى المستعملة  
في النقل عقب زمن معلوم مساو لمجموع القوى المعدومة بالمقاومات  
فعلى ذلك اذا مشى انسان بقوة مستمرة فمنا معلوما فمجموع القوى  
المستعملة في هذا الزمن يكون دالا على مجموع القوى المعدومة  
ويؤخذ من ذلك ان تصرف القوى يكون على حسب المسافة في الكبر  
فاذا كان التحرك منتظما من جميع جهاته كانت القوى المستعملة لتحصيله  
في زمن معلوم مناسبة لهذا الزمن تناسبا مطردا

ولننبه حيثئذ على القاضل الغائي الحاصل من جهة بين التحركات التي يمكن

وجودها في الفراغ بدون نوع قامن الاحتكاك والحاصل من جهة أخرى  
بين التحويلات الحادثة مناعلي الأرض فنقول اذا اردنا معرفة مسافة سير  
الكواكب السيارة او ذوات الذنب او أي جرم في السماء وكان هذا التحوّل حاصلًا  
بنفسه فانه يكنى اخذته هذه الكواكب السيارة او ذوات الذنب او الجرم  
المذكور لاجل ضرب ثقل ذلك في السرعة ويكون الحاصل باقيا على حالة  
واحدة في أي مسافة للنقل لانه لا يحتاج الى صرف قوى جديدة لاجل استمرار  
النقل المذكور الا انه في الأرض ينبغي أن يضاف الى هذا المجموع الأول  
على الأرض مجموع آخر يدل على القوى المعدومة في كل وقت فاذا اخذ  
هذا المجموع الاخير في الازدياد دائما فانه يفوق المجموع الأول حتى يمكن  
اهماله وحينئذ يقال كما يقول متعهدو النقل ان اجرة النقل تكون مناسبة  
للمسافات المقطوعة ما لم يكن هناك مانع وليست هذه الملاحظات خاصة  
بالنقل بل تعمه هو واغلب ما يعرض للآلات من التحويلات الناشئة عن القوى  
المتنوعة وسيأتى لك توضيح ذلك خصوصا في الجزء الثالث من هذا الكتاب  
عند الكلام على استعمال القوى المتحركة

وقد ذكرنا ان القوة المنفردة دون غيرها من القوى تحدث التحوّل دفعة  
واحدة بالجسم معلوم ولنفرض ان هذه القوة يتجدد تأثيرها في خلال الأزمنة  
المتساوية

ونرمز بحرف  $h$  الى المسافة المقطوعة بالجسم وبحرف  $v$  الى سرعة  
هذا الجسم وبحرف  $t$  الى الزمن المعدل قطع مسافة  $h$  بسرعة  $v$   
وفي مبدء وحدة الزمن الثانية تضعف القوة التي تكرر فعلها سرعة الجسم  
مثنى فيقطع في مسافة زمن  $t$  الثاني مسافة تساوي  $2h$   
وفي مبدء وحدة الزمن الثالثة تضعف القوى التي تكرر فعلها ايضا  
سرعة الجسم ثلاث فيقطع في مسافة زمن  $t$  الثالث مسافة تساوي  $3h$   
وهلم جرا

فاذن يحدث معنا للاوقات المختلفة

زمن ط الأول    زمن ط الثاني    زمن ط الثالث    زمن ط الرابع    زمن ط المبني  
 سرعة مكتسبة ق    سرعة مكتسبة ٢ ق    سرعة مكتسبة ٣ ق    سرعة مكتسبة ٤ ق    سرعة مكتسبة ٥ ق  
 مسافة مقطوعة هـ    مسافة مقطوعة ٢ هـ    مسافة مقطوعة ٣ هـ    مسافة مقطوعة ٤ هـ    مسافة مقطوعة ٥ هـ  
 فيكون مجموع المسافات التي عددها م المقطوعة بالجسم في زمن ط  
 تساوي بالبداية

$$\overline{هـ} + \overline{٢ هـ} + \overline{٣ هـ} + \overline{٤ هـ} + \overline{٥ هـ} + \dots + \overline{م هـ}$$

ولامانع من استعمال الهندسة هنا لبتضع باحد اشكالها هذه الحواصل  
 النسوبة للقوى فنقول

ليكن (شكل ١) مستقيم وس الرأس مقسوما الى مسافات  
 متساوية تدل كل واحدة منها على وحدة زمن ط ومستقيم وص  
 الانفي مقسوما ايضا الى مسافات متساوية تدل كل واحدة منها على مسافة  
 هـ المقطوعة بمدة زمن ط الاول فاذا وصلنا بين نقط التقسيم بمستقيمان  
 اقضية ورأسية حدث عن ذلك سلام طول كل واحدة منها مسافات هـ  
 و ٢ هـ و ٣ هـ و ٤ هـ الخ المقطوعة في مدة اللازمة المتوالية  
 المساوية لزمن ط ويكون سطح درجاتها المختلفة

$$\overline{وا} \times \overline{هـ} , \overline{اب} \times \overline{٢ هـ} , \overline{بث} \times \overline{٣ هـ} , \overline{ثد} \times \overline{٤ هـ} \text{ الخ}$$

لكن حيث كان  $\overline{وا} = \overline{اب} = \overline{بث} = \overline{ثد}$  فاذا فرضنا  
 عرض جميع الدرج مساويا للوحدة يكون سطح الدرج  
 بالاختصار

$$\overline{هـ} , \overline{٢ هـ} , \overline{٣ هـ} , \overline{٤ هـ} \text{ الخ}$$

وسطح السلام الكلي يدل على المسافة الكلية للمقطوعة بالجسم  
 ونفرض ان القوة الدافعة تؤول الى نصفها الا انها تضعف عدد دفعاتها

في زمن معلوم

وبحفظ وحدة الامتداد لا تكون درجات السلام الجديدة (شكل ٢) التي تدل على هذا التحرك الجديد الانصف العرض وتصبح ضعف السلام المتقدمة وكذلك لا يكون للمسافات المقطوعة في كل نصف زمن الانصف

الزيادة الاصلية غير ان هذه الزيادة تكون ضعف الزيادة السابقة

ويمكن أن يفرض ان القوة الدافعة تكون محولة الى ثلث مقدارها الاصلى اربعة (شكل ٣) او خمسة الخ لكن بتحديد دفعاتها ثلاث مرات او اربعا وخمسا الخ بخلاف القوة الاصلية فانها لا تتجدد الدفعات المذكورة الا مرة واحدة وحيث تكون التحركات مبنية بدرجات عرضها محول الى ثلث العرض الاصلى اربعة او خمسة الخ ولا يكون ازدياد طولها الا ثلث الازدياد الاصلى اربعة او خمسة الخ

فاذا مددنا مستقيم وز من رأس السلام الى نهايتها السفلى فانه يمر بجميع نقط ١ ٢ ٣ ٤ د الخ التي تحدد اسفل درجات السلام وعلى ذلك تكون المسافات المقطوعة عقب ازمنة

$$\begin{array}{c} \overline{ط} \text{ و } \overline{٢ ط} \text{ و } \overline{٣ ط} \text{ و } \overline{٤ ط} \text{ الخ} \\ \overline{١١} \text{ و } \overline{١٢ ب} \text{ و } \overline{١٣ ج} \text{ و } \overline{١٤ د} \text{ الخ} \end{array}$$

ثم ان نسبة اضلاع  $\overline{وا}$  اذن لا تتغير متى اخذ نصف ضلع  $\overline{وا} = \overline{ط}$  ونصف ضلع  $\overline{ا ه} = \overline{ه}$  وثالث  $\overline{وا}$  وثالث  $\overline{ا ه}$  وربع  $\overline{وا}$  وربع  $\overline{ا ه}$  لاجل عمل سلام (شكل ٢) (شكل ٣)

الذين على التحركات التي تقدم ذكرها

ولا يتغير اتجاه  $\overline{وا}$  و  $\overline{ب}$  و  $\overline{ج}$  و  $\overline{د}$  الخ متى فرض انتفاص مقدار القوة في نسبة واحدة مع كثرة دفعاتها مدة زمن معلوم

فاذا تكررت الدفعات وكانت القوة صغيرة جدا في كل دفعة واقتضى الحال انقسام  $\overline{وا} = \overline{ط}$  و  $\overline{ا ه} = \overline{ه}$  الى اجزاء متساوية دقيقة

جدا فان وجهة سلام ١ ٢ ٣ ٤ د الخ



(شكل ١) تكون مستقيما واحدا كستقيم وز بحسب النظر (شكل ٤)  
 وحيث كان سطح سلام و ٢ ١ ١ ب الخ زس دالا على المسافة  
 الكلية المقطوعة بالجسم مدة الزمن المبين بخط وس يكون في هذه الحالة  
 سطحا مثلث وسز (شكل ٤)

وحيث ان السرعة مناسبة للمسافة المقسومة على الزمن (المجهول هنا وحدة)  
 فان اطوال درجات آ و ب و ث ج تكون دالة  
 على السرعة المتعددة المكتسبة من الجسم عقب زمن مساو لكل من ا ط  
و ٢ ط و ٣ ط الخ

فاذن تكون هذه السرعة باقية على حالة واحدة عقب زمن واحد بفرض ان  
 القوة المحولة الى  $\frac{1}{2}$  و  $\frac{1}{3}$  و  $\frac{1}{4}$  و  $\frac{1}{5}$  الخ  
 تؤثر في الجسم مرتين او ٣ او ٤ او ٥ الخ بخلاف القوة الاصلية  
 فانها لا تؤثر فيه الا مرة واحدة

واذا كان عدد الدفعات عظيما جدا مدة زمن معلوم وكان لا يمكن تمييزها  
 بسبب تغير السرعة المتعددة على حين غفلة فان مستقيم وز (شكل ٤)  
 و (شكل ٥) يدل كما ذكر على السرعة المكتسبة من دل وس على الازمنة  
 الماضية و سطح السلام الذي يكون حيثئذ سطح مثلث وسز يدل على  
 المسافات المقطوعة وبناء على ذلك تكون السرعة المكتسبة مبينة بطول  
سز وكذلك المسافة المقطوعة تكون مبينة بـ سطح وسز وذلك  
 عقب الزمن المرموز اليه بخط وس

فاذا رمزنا بحرف ط و ط الى الزمنين المبينين بخطي وس  
 و وس (شكل ٥) ورمزنا بحرفي ق و ق الى سرعتين  
 المبيتين بخطي سز و سز ثم بحرفي هـ و هـ الى المسافتين  
 المبيتين بـ سطح مثلثي وسز و وسز فانه يحدث عن ذلك

$$\begin{array}{l} \text{وس} : \text{وس} :: \text{سز} : \text{سز} \\ \text{او ط} : \text{ط} :: \text{ق} : \text{ق} \end{array}$$

وحينئذ تكون في التحرك المعبر عندنا سرعتا  $ق$  و  $ق$  المكتسبتان

عقب زمني  $ط$  و  $ط$  مناسبين لهذين الزمنين

وزيادة على ذلك يقتضى الدرس الخامس من الهندسة يكون

سطح  $وسز$  : سطح  $وسز$  ::  $وسه$  :  $وس$

او  $ه$  :  $ه$  ::  $ط$  :  $ط$

فاذن تكون المسافات مناسبة لمربعات الازمنة المقتطعة

وعليه فيقال حيث كانت الازمنة  $ا ط$  و  $ا ط$  و  $ا ط$  و  $ا ط$  و  $ا ط$  الخ

فان المسافات المقطوعة تكون  $ا ه$  و  $ا ه$  و  $ا ه$  و  $ا ه$  و  $ا ه$  الخ

وحيث كان في مثلث  $وسز$  و  $وسز$  المتشابهين

سطح  $وسز$  : سطح  $وسز$  ::  $سز$  :  $سز$

او  $ه$  :  $ه$  ::  $ق$  :  $ق$

فالمسافات المقطوعة في ازمة معلومة تكون حينئذ مناسبة لمربعات السرعة

المتعددة المكتسبة في نهاية هذه الازمنة

وبناء على ذلك

ففي عقب ازمة  $ا ط$  و  $ا ط$  و  $ا ط$  و  $ا ط$  و  $ا ط$  الخ

تكون السرعة المكتسبة  $ا$  و  $ا$  و  $ا$  و  $ا$  و  $ا$  الخ

والمسافات المقطوعة  $ا ه$  و  $ا ه$  و  $ا ه$  و  $ا ه$  و  $ا ه$  الخ

فاذا فرض انه في عقب زمن  $ط$  المين بخط  $وس$  (شكل ٥)

بطل عمل القوة الدافعة من اول وهلة فان الجسم يتحرك بسرعة  $ق$  الثابتة

المبينة بخط  $سز$  وحينئذ تكون الخطوط الاقية المتساوية وهي  $سز$

$= سز = سز$  دالة على هذه السرعة الثابتة

وسطح مثلث  $وسز$  يدل على المسافة الكلية المقطوعة مدة زمن  $ط$

بعده قوى دافعة صغيرة جدا تأثيرها ثابت على الدوام

وسطح مستطيل  $سز زس$  الذي هو ضعف مثلث  $وسز$  يدل

على المسافة الكلية المقطوعة مدة زمن ثان مرموز له بحرف ط بسرعة  
ثابتة مكنسبة عقب زمن ط الاول  
وعلى ذلك اذا جددت قوة ثابتة صغيرة جدّا دفعاتها في مسافات صغيرة متخللة  
بين ازمدة متساوية فان المسافة الكلية التي قطعها الجسم بتلك القوة في مدة  
زمن ط تكون نصف المسافة التي كان يقطعها هذا الجسم في نفس زمن ط  
لولا تجديد القوة المذكورة دفعاتها

\*( بيان التناقل ) \*

قد دلت الطبيعة على مثال عظيم متعلق بال تكرار المستمر الحاصل من القوة  
الدافعة الثابتة وهي ان جميع الاجسام المتجذبا باوميل الى مركز الارض فتكون  
القوة المذكورة محسوسة متى منعت عن جذب الجسم المطلوب نقله وتكون قوة  
التناقل في كل وقت معدومة بمقاومة الجسم ثم تتجدد ثانيا وقتا بعد آخر  
بتأثير مستمر واحد

وعليه لجميع النتائج المتصلة بواسطة القوى التي تتجدد دفعاتها كل وقت  
توافق ايضا قوة التناقل

وحية اذا سقط جسم بدون معارض ولا مانع حدث عن ذلك اربع حالات  
(اولا) ان السرعة المتكررة المكتسبة تكون مناسبة للازمنة المعدة  
لاكتسابها

(ثانيا) ان المسافات الكلية التي يقطعها الجسم المذكور تكون مناسبة  
لمربعات الازمنة المعدة لقطعها

(ثالثا) ان تلك المسافات الكلية المقطوعة تكون مناسبة لمربعات السرعة  
المتكررة المكتسبة بالجسم عقب كل مسافة مقطوعة

(رابعا) اذا اخذ الجسم عقب زمن معلوم سرعة ثابتة مساوية للسرعة التي  
اكتسبها في هذا الزمن بعينه فانه يقطع مسافة كلية ضعف المسافة التي قطعها  
وذلك مع ازدياد سرعته بالتدريج

وفي اي مكان من الارض تكون المسافة التي يقطعها الجسم عند سقوطه

في اول ثانية مساوية  $٩٠٤٣٩٧٥$  ر  $٤$  فلا مانع حينئذ من ان سرعته المكتسبة في عقب الثانية تجبره على قطع ضعف تلك المسافة مع الاستظام

بمعنى انها تكون مساوية  $٨٠٨٧٩٥$  ر  $٩$  في الثانية الواحدة وفي عقب  $١٠$  ثوان تكون المسافة التي يقطعها الجسم عند وقوعه بدون معارض مساوية  $١٠٠$  مرة للمسافة التي يقطعها مدة الثانية الواحدة اي انها تساوي  $٤٣٩٧٥$  ر  $٤٩٠$  وتساوي ايضا في الدقيقة الواحدة

$١٧٦٥٥$  ر  $٨٣١$

ولا بد للاجسام الساقطة من شئ عظيم تصل به سرعتها الى هذه الدرجة وذلك لمقاومة الهوائها (كما سيأتى في استعمال القوى المحركة المذكورة في الجزء الثالث)

\*(تطبيق)\*

إذا لم تكن المسافات المعدة للقطع كبيرة جدًا واستعملت اجسام كبيرة جدًا فانه يمكن بواسطة الآلة الحسائية الدالة على اخماس الثانية الواحدة قياس عمق البئر وارتفاع الحائط والقبعة ونحو ذلك قياسات تقريبيا مستعملا فاذا خلى الجسم ونفسه للوقوع وعدت الثواني وكسورها التي يقطع بها الجسم المذكور هذه المسافة فان مربع هذا العدد يضرب في  $٩٠٤$  ر  $٤$  الخ ويكون حاصل ذلك هو المسافة المقطوعة

ولنبه على ما بين الهندسة والميكانيكا من الارتباط الذي يعلم به ارتفاع عمارة او عمق معدن بواسطة النظر في الساعة ويعلم به ايضا طول زمن مضي بواسطة قياس المسافة قياسا بسيطا فنقول قد استبان من البندولات مثال شهير في شأن الارتباط الحاصل بين العلين المذكورين الذين جعلت قواعدهما وتساخجها لتتضح بها سبل الصناعة وتسهل من اولتها

فاذا عرفت ما ذكره لك في شأن تأثير ايدي الاهوان وآلات الدق وضرب

التقود والمطارق ونحو ذلك اتضح لك انهم توصلوا بواسطة الفنون الى تطبيق  
قوانين مقوطة الاجسام وتوسيع دائرتها والاهتمام بشأنها تطبيقا مفيدا  
وان معرفة هذه القوانين عمالة منه

ولنعرض انه حين شروع التناقل في ادفاعاته المتكررة كل وقت يكتسب  
الجسم سرعة ما وفي ذلك ثلاث صور

الصورة الاولى اذا كانت السرعة الاصلية متجهة جهة التناقل فحيث كانت  
نابة فانها تنضم الى السرعة المتعددة الحادثة من التناقل المذكور  
وفي هذه الصورة يطلق على التناقل بالنظر للاجسام التي تزداد سرعتها وتسير  
مع العجلة في كل وقت اسم القوة المعجلة

الصورة الثانية اذا كانت السرعة الاصلية متجهة الى جهة مضادة لجهة  
التناقل فان هذا التناقل ينقص السرعة المذكورة في كل وقت وحيث كان  
التناقل المذكور يعطل سير الجسم بلا انقطاع اطلق عليه اسم القوة المعطلة  
الطبيعية

مثلا اذا اطلقنا طنجبة من اعلى الى اسفل فان الرصاصة الخارجة منها تقع  
في مبدء الامر بالسرعة الحادثة لها من البارود المشتعل ثم تزداد هذه السرعة  
بتأثيرات التناقل المتكررة المشابهة لتأثير القوة المعجلة

واذا اطلقنا طنجبة من اسفل الى اعلى فان الرصاصة ترتفع في مبدء الامر بالسرعة  
الحادثة لها من البارود المشتعل غير ان تحركها يتعطل في كل وقت بما يحدث  
عن التناقل من التأثير المتجدد المشابه لتأثير القوة المعطلة

وفي عقب زمن ايا كان تبطل سرعة الرصاصة الاصلية بتأثير التناقل المتضاد  
فتمكث هذه الرصاصة ساكنة زمنا ثم تهبط بتأثير التناقل من الوضع الذي كانت  
فيه وهي ساكنة ويستمر التناقل على ذلك كقوة معجلة

وفي هذا التحرك الجديد تزيد قوة التناقل في كل وقت بكمية من التأثير مساوية  
بالضبط للكمية المنقوصة مدة صعود الرصاصة وعليه ففي مدة الزمن  
المذكورة تقطع الرصاصة مسافات متساوية قبل الوقت الذي تصل فيه

الى اقصى درجة من الارتفاع وكذلك بعده سواء كانت صاعدة اوهابطة  
وتكون معضوية دائما بسرعتها المكتسبة اذا وصلت الى ارتفاع واحد  
سواء كانت صاعدة اوهابطة ايضا

ويجب حفظ ما ذكرناه لانه من اعظم قواعد علم الميكانيكافائدة وسياتي لك  
مايدل على اهمية تطبيقاتها المتعددة على الصناعة

والسرعة المعدومة بالرصاص الصاعدة مناسبة للزمن الماضي منذ اطلاقها  
ونقصان المسافة المقطوعة بالرصاص المذكورة مناسبة لمربع هذا الزمن

والسرعة المكتسبة بالرصاص الهابطة مناسبة للزمن الماضي منذ شروعها  
في الهبوط والمسافة المقطوعة بالرصاص المذكورة بواسطة التناقل مناسبة  
لمربع هذا الزمن

وتطلق القوى البسيطة على القوى التي لا تؤثر في الجسم الامتزة واحدة  
وبها تكون المسافات المقطوعة مناسبة للسرعة الثابتة المتعددة

وتطلق القوى النشاطية على القوى المجعلة اوالمعطلة التي يكون قياسها معلوما  
من مربع السرعة المكتسبة المتعددة

واى وضع وجذفيه الجسم مدفوعا باى سرعة كانت فانه اذا هبط مدة زمن ط  
اكتسب سرعة  $\sqrt{2g\tau}$  المناسبة لزمن ط المذكور وعليه اذا كان م رمز  
لجسم هذا الجسم فانه يكتسب كمية من التحرك تساوى  $\frac{1}{2} M v^2$  وهذه  
الكمية هي مقدار القوة النشاطية من م

فاذا وقعنا جسما ليكتسب قوة  $\frac{1}{2} M v^2$  كن استعمالها فيما بعد في اشغال الصناعة  
فانه يستدل على كمية القوى التي يجمعها بضرب مجموعها في سرعته المكتسبة  
وذلك في عقب

$$1, 2, 3, 4, \dots \text{ الخ من التواني}$$

$$1, 4, 9, 16, \dots \text{ الخ م } \times 808790, 9$$

فاذا اخذت هذه المقادير من الشمال الى اليمين ادت للجسم الهابط لقوة النشاطية

المتزايدة وإذا اخذتها من الجين الى الشمال اذت الجسم الصاعد القوة الفساطية المتناقصة

والفاضل بين هذه القوى هو عين الفاضل بين الارتفاعات سواء كانت القوى المذكورة صاعدة اوهابطة

وحينئذ اذا وقع جسم بدون معارض بقوة نشاطية مكنسبة من ابتداء نقطة  $\bar{A}$  الى نقطة  $\bar{B}$  او حذف هذا الجسم من اسفل الى اعلى بالقوة المذكورة فانه يرتفع من  $\bar{B}$  الى  $\bar{A}$  قبل أن تبطل قوة التناقل المعطلة جميع ما تحصل منها في مبداء الامر عند تنزيلها للجسم المذكور

ومن ثم يعلم انه لا يمكن استخراج فائدة من القوة المكتسبة بالجسم الهابط ليصعد بها اعلى من نقطة مبداء سيره ولا من القوة المعدومة بالجسم الصاعد لتزداد قوته بواسطة سقوطه اذا اقتضى الحال رجوعه الى نقطة مبداء سيره

وهذه الحقائق في غاية السهولة ومع ذلك اذا تظن اليها العقل حادهم عن الوقوع في الاختلاطات والتراكيب القاسدة والمباحث الخالية عن الفائدة المتعلقة بالتحرک الدائم

فاذا كان هناك جسم ساكن ووقع عليه تاثير الهواء كان هذا التأثير قوة دافعة له تتجدد دائما حتى يكتسب سرعة مساوية لسرعة الهواء المذكور لكن كلما اكتسب الجسم المذكور سرعة اكبر من الاولى حصل له من الهواء دفعة غير قوية وعليه ففي هذه الحالة لا تكون القوة المعجلة ثابتة وكذلك لا تكون القوانين المحكمة المنظمة لنسب الزمن مع السرعة المتكررة والمسافات المقطوعة اسهل من القوانين التي ذكرناها وينطبقها على التناقل

(وسياتي ان قوة التناقل لا تكون ثابتة على ابعاد متنوعة من مركز الارض)

واذا فرضنا ان جسما يتحرك في الهواء الساكن اوفى اتجاه مضاد لاتجاه الهواء فانه بمجرد ازدياد سرعته يحصل له من الهواء مقاومة متزايدة وعليه فلا يكون الهواء مؤثرا كالقوة المعطلة الثابتة فقط بل يكون مؤثرا كالقوة المعطلة المتزايدة

وسياتى لهذه الملاحظات التي ذكرناها هذا على وجه اجمال مزيد توضيح عند تعريف طبيعة قوة الهواء الخاصة وبيان تطبيقها على الصناعة (في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة المطبقة على الصناعة) هذا ولم يبق علينا الا الصورة الثالثة ولتذكرها هنا فنقول ان هذه الصورة هي التي تكون فيها القوة الاصلية متجهة الى جهة مخالفة لتأثير القوى المعجلة او المعطلة وحينئذ لا يقطع الجسم خطا مستقيما وانما يرسم منحنيّا تكون خاصيته وانحناءه على حسب تأثير القوى المعجلة او المعطلة وشدة تلك القوى ولانذكر هنا الا قوتين وهما قوة الهواء وقوة التناقل اللتان يؤثران في تحرك الاجسام سرعة او بطا واما الصناعة فيستعمل فيها بجهة عظيمة من القوى الاخرى لانها تبطل مقاومة ماشا بهما من القوى لاجل تحصيل النتائج المطلوبة وقد تقدم الكلام على بعض تلك القوى ولترجع الى ما نحن بصدده فنقول

اذا كان هناك سفينة متحركة على الماء فان تحركها يكون بقوة مستمرة تنقلها من حالة السكون حتى تصل الى غاية ما يمكن من السرعة فيلزم ان تبطل بالتدريج مقاومات الماء الشبيهة بتأثير القوة المعطلة ولا تصل الى حالة التحرك المنتظم والمتنسق الا اذا كان ما يندفع من السرعة بتأثير القوة المعطلة مساويا لما يتجدد من السرعة عن القوة الدافعة التي يفرض تجدد تأثيرها في كل وقت تساويا مضبوطة

وقد امتازت القوة الدافعة عن غيرها من القوى في انواع الالات يكون تأثيرها يزيد في كل وقت بكمية معلومة لاجل ابطال المقاومات التي تجدد في كل وقت لابطال هذه الكمية بعينها

ففي اخذت آلة في التحرك فانما تظهر بالقوة الدافعة على القوة المعطلة فينشأ من ذلك استمرارها على هذا التحرك وهو الذي يزداد بالتدريج حتى يصل الى الدرجة التي يكون ما يندفع فيها من السرعة في كل وقت بالمقاومات مساويا لما يتجدد منها اي السرعة بالقوة الدافعة وبالوصول الى هذه الدرجة يكون



تتحرك الآلة منتظما او منتسقا وهذا التحرك هو الجارى فى الاشغال العادية من اشغال الصناعة

وللتحركات الاولى المتغيرة منزبة على غيرها فى تحرك الآلة لا توهى ان سرعتها فى مبداء الامر تكون معدومة ثم تتجدد وتزداد بالتدرج حتى تصل الى السرعة الثابتة المستعملة فى الاشغال المستمرة

هذا ولم يبد هذه الملاحظة لجرد الرغبة فيما بل لكونها ضرورية فى فهم تحرك الآلات فانه فى مبداء التحرك يكون جزء من القوة الدافعة معدا لان يحصل به لكل من اجزاء الآلة درجة من السرعة الموافقة لحالة الشغل العادى الثابتة وعليه فيلزم ان تلك القوة ينعدم بها أولا انزى الآلة (اى سكونها) وثانيا اوائل مقاومات القوى المعطلة لانه اذا اعطى للآلة المذكورة من اول وهلة قوة ثابتة مع السرعة اللازمة لها فى حال تحركها الاعتيادى لزم لذلك قوة وقية عظيمة جدا حتى تبطل دفعة واحدة المقاومات الخاصة بهذه الآلة والمقاومات الحادثة من انزى اجزائها وبذلك يحشى على الاجزاء المذكورة فانها ان لم تتكسر وتلف تضعف صلاحيتها وسند كفى الكلام على تحرك الطارات المضرسة مثلا شهيرا تعلم به اهمية ما ذكر

\*( الدرس الثالث )\*

\*( فى بيان القوى المتوازية )\*

لا يخفى اننا الى الان لم نذكر القوى المتجهة على مستقيم واحد وسبق ان علمنا ان يندويته على حسب تأثيرها فى جهة او اخرى تقابلها فاذا كانت القوى لا تؤثر على مستقيم واحد فقط بل على مستقيمتين متوازيين فانه يحصل عن ذلك تأثير كذا نير القوى المتقدمة

مثلا اذا كان فرسان يجزان عربتي فى قطار واحد على مستقيم واحد كان تأثيرهما عين تأثير فرسين مشدودين بجانب بعضهما ويجزان ايضا بالتوازي وكذا ثلاث افراس مربوطة فى قطار واحد ومتجهة على مستقيم واحد يكون تأثيرها عين تأثير ثلاثة اخرى مشدودة بجانب بعضها وجارة بالتوازي

وهلم جرّا

فاذن يحدث من القوى المتوازية العديدة المتحدة الجهة عين التأثير الذي يحدث من قوة واحدة تساوي مجموع تلك القوى وتجبر في اتجاه واحد هي المعروفة بمحصلة تلك القوى

فاذا كان هناك قوى متوازية تجذب الى امام واخرى مثلها تجذب الى خلف وحولت الاول الى قوة واحدة مساوية لمجموعها والاخرى الى قوة واحدة مساوية لمجموعها ايضا فان القوة المحصلة الكلية تكون مساوية لتفاضل المجموعين ومتجهة جهة اكبرهما

وقد ذكرت لك هذه النتائج الثابتة بالتجربة لما ان استعمال هذه الكيفية اولى من اقامة براهين غير جلية لا تقنع ارباب القرائح الجيدة فلو قلنا مثلا كما يقول بعض مؤلفي الاصول الاولية انه يلزم اعتبار قوتين متوازيتين في الاتجاه كلتاهما طعنين في نقطة واحدة تقاطعا غير محدود ولهما اتجاه واحد غير محدود ايضا واثرنا التعبير بهذه الطريقة لما ذكرنا لك في الحقيقة الاشياء غامضة قليلة الوضوح ومما يسهل مشاهدته ان لمحصلة القوى المتوازية اتجاهها واحدا مع القوى المترتبة منها وانها تساوي مجموع ما كان منها يجذب الى امام ناقصا بمجموع ما كان منها يجذب الى خلف وانما يصعب أن يشاهد في جميع الحالات وضع المحصلة الحقيقي ومعرفته متوقفة على مراجعة الهندسة

وذلك ان الهندسة تبين بواسطة الخطوط المناسبة زيادة عن المسافات المقطوعة او المعدة للقطع والمسافات المشغولة بالآلات ومحصولات الصناعة اصولا ميكانيكية بظن انه لا علاقة بينها وبين علم الامتداد ويجب مزيد الالتفات الى هذا الغرض المهم

وبالجمله فلا علاقة بين مدة الزمن وطول الخط الا ان الزمن ينقسم الى اجزاء متساوية كالساعات مثلا وتنقسم الساعات ايضا الى اجزاء متساوية كالدقائق والثواني وغير ذلك والخط المستقيم او المنحني ينقسم ايضا الى اجزاء متساوية منخرطة بارقام ١ و ٢ و ٣ الخ كالساعات التي تتعاقب في السير من وقت

معين وينقسم كل جزء من تلك الاجزاء الى اجزاء متساوية بقدر ما في الساعة من الدقائق وهذه التقسيمات الجديدة تدل على دقائق كل ساعة فاذا قسمنا اجزاء الخط الجديدة تقسيماً ثانوياً بقدر ما في الدقيقة من الثواني فان التقسيمات الحادثة من ذلك تدل على الثواني وهم جراً

فاذا اوضعت الفكرة بالارقام على هذه التقسيمات امكنك أن تستدل على الزمن أولاً بالاعداد وثانياً بالطوال الخطوط فاذا اجعت اجزاء الخطوط او طرحتها اوضرت بها الوقت كما تفعل ذلك في اجزاء الزمن الدالة عليه كان بالبداية الخط الاخير وهو حاصل جميع هذه العمليات دالاً على الزمن الاخير المطلوب تقديره وهذه هي كيفية استعمال الهندسة في الاستدلال بالخطوط على الزمن

ثم ان مينات الساعات صغيرة كانت او كبيرة على شكل دائرة منقسمة الى اثني عشر جزءاً متساوية تدل على الساعات ومنقسمة ايضاً تقسيماً ثانوياً الى ستين جزءاً متساوية تدل على الدقائق لكن لما كانت وحدة القياس مختلفة في الدقائق والساعات لزم للساعة عقربان ليتبعاً حركتهما ولزم ايضاً ان العقرب المعدل للدقائق يكون اسرع في السير من العقرب المعدل للساعات باثني عشرة مرة

وفي المزاويل الشمسية تكون مدة الزمن مبينة ايضاً باصول هندسية وهي الزوايا وذلك بان نمد من مركز المزاولة مستقيماً موازياً لمحور الارض ونقرض مستويين يمر بكل من المستقيم المذكور ومركز الشمس ويدور دورانه منتظماً \* والزوايا التي تقاس تحركة تكون ايضاً قياساً للمسافات المقطوعة

وكل من السرعة والزمن قابل للاستدلال عليه بالخطوط وحيث تكون ارتفاعات وا و اب و بث المبينة في (شكل ١ من الدرس الثاني)

دالة على الازمنة الماضية \* وما يكتسبه الجسم من السرعة المتكررة يستدل عليه بمستقيبات اا و بب و ثج الخ المتوازية

وحيث فيستدل على المسافات المقطوعة بالسطوح كما تقدم ومتى اريد الاستدلال على المسافات المقطوعة بخطوط مناسبة لها وعلى الازمنة بخطوط ايضاً كانت السرعة المتكررة هي النسب الحاصلة بين هذه

الخطوط فاذن لا يستدل عليها من الا<sup>ن</sup> فساعد الا<sup>ب</sup> بالاعداد  
واما القوى فانها ليست من جنس الزمن ولا السرعة ولا المسافة لكنها عوارض  
تستعمل الزمن لسير الاجسام من مسافة معلومة في زمن معلوم بسرعة  
معلومة

فيمكن أن يستدل على القوى بخطوط مناسبة لها ومتجهة ايجابها  
كما استدل بها على الازمنة والسرعة المتكررة والمسافات

وهذه القضايا واضحة سهلة اذ بها يظهر لك من اول وهلة اعظم فوائد علم  
الهندسة وانما احتيج الى هذا العلم هنا لتسهيل به معرفة الميكانيكا ولاجل  
استحضار او معرفة حقائق الاشياء وان كان لا وجود لها في الظاهر بحيث يمكن  
ادراكها بالحواس كالزمن فانه لا يمكن رؤيته ولا مسه ولا سماعه وانما يمكن  
رؤية الخطوط والنقط والارقام المرسومة على المذولة ويؤخذ من ذلك ان الاشياء  
تكون شاهدة دائما بواسطة الهندسة وبها يمكن قياس الزمن

وكذلك لا يمكن رؤية ثقل الجو ولا سماعه ولا مسه وانما يمكن رؤية تقاسيم المستقيم  
المرسوم بقدر طول البارومتر (وهو ميزان الهواء) الذي تعرف به تغيرات ثقل  
الجو ويتوصل بالهندسة الى ادراك ذلك كله بالحواس

ولا يمكن ايضا الحكم بمجرد النظر على الضغط الحادث عن البخار في قدر من الة  
البخار وانما يمكن بواسطة المانومتر (وهو ميزان الابخرة) الذي هو كتابة  
عن بارومتر بخاري أن يستدل على هذا الضغط بخط منقسم الى اجزاء متساوية  
ومياً في ذلك في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة

فلا غرو حينئذ في الاستدلال على القوى بخطوط مستقيمة \* واتجاه هذه  
الخطوط هو عين الاتجاه الذي يتبعه الجسم الواقع عليه تأثير القوة الميينة  
بما تقدم \* وطول الخط يدل على مقدار القوة ولترجع الى ما نحن بصدده وهو  
القوى المتوازية فنقول

معي كان القوتان المرموز لهما بمستقيمي اس و بص (شكل ١)  
جاذبتين مستقيمتين اب العمودى عليهما كان قضيب شر مربوط

بمنتصف أ ب والموازي لهاتين القوتين والموضوع على وجه منتظم بالنسبة لهما دالا بالبداهة على اتجاها محصلتهما وبالجملة فحيث كانت قوة اليمين ليست أكبر من قوة الشمال فلا داعي لأن تكون المحصلة أقرب إلى اليمين من الشمال أو إلى الشمال من اليمين

فاذا كان هنالك ثلاث قوى جاذبة بالتوازي لمستقيمات أ س و ب ق و ش ز (شكل ٢) وموضوعة على بعد واحد من بعضها فإن المحصلة تقع في ب ق وهم جزاؤها أن الصورتان يجريان في كثير من عمليات النقل بالعربات

مثلا إذا جرت فرس واحد عبرة بواسطة مجرتين موضوعين وضعا منتظما على يمين منتصف العربية وشماله فانه يسحب بالسوية مجرى اليمين والشمال وعليه فينبغي أن تسير العربية إلى الامام في اتجاه مواز للمجرتين المذكورين كما إذا كان الفرس لا يجزى الا بواسطة جبل او جزائر ثابتة في منتصف العربية

واذا كان هنالك فرسان جاذبان بجانب بعضهما فانهما يكونان على بعد واحد من نقطة المنتصف وهي ع (شكل ٣) وعلى ذلك تكون مجرتان ط و ط و ط و ط الاربعة موضوعة وضعا منتظما على يمين المنتصف وشماله وبيان ذلك أولا ان محصلة مجرى ط و ط مساوية ط + ط وواقعة على ه في منتصف كتف العربية وهو ا وثانيا ان محصلة مجرى ط و ط مساوية ط + ط وواقعة على ف في منتصف الكتف الثاني للعربية وهو د وثالثا ان لقوتى ه و ف محصلة وهي ع مساوية لمجموعهما وهو ط + ط + ط + ط وموضوعة على بعد واحد من ه و ف

فعلى ذلك يكون مستقيم ع المار بمنتصف العربية دالا في الاتجاه على المحصلة الناتجة

ولنفرض أن هنالك قوتين متوازيتين وهما أ س و ص غير متساويتين وجاذبتين لقضيب ا ب (شكل ٤) والمطلوب معرفة وضع المحصلة

فلاجل ذلك نفرض أن  $\overline{س ر ا ث}$   $\overline{ص ه ر ث}$  (شكل ٥) منشوران  
 او اسطوانتان متجانستان ومتحدتان في السلك والطول بحيث اذا انطبق احد  
 طرفيهما على الآخر كانا شاغلين لطول  $\overline{ا س}$  مرتين وهذا ما يمكن عمله دائما  
 فاذا تقرّر هذا انضح لك أن  $\overline{ث ا س} = \overline{س و ث}$  و  $\overline{ص ه ر ث} =$   
 $\overline{ص ه ر ا ث}$  لا يتغيران اذا علق  $\overline{ث ا س}$  و  $\overline{ص ه ر ص}$  من منتصفهما  
 تعليقا اقليبا فحينئذ يوجد بين  $\overline{ا و}$  أولا نصف طول الثقل الصغير  
 وثانيا نصف طول الثقل الكبير وعليه يكون مجموع نصفي الطولين المذكورين  
 مساويا لبعده  $\overline{ا س}$  فاذن ينطبق الثقلان على بعضهما ويكونان موضوعين  
 على وجه بحيث لا يتكوّن منهما الا ثقل واحد فاذا فرض انهما من مبداء الامر  
 متلاصقان فذلك لا يغير لوازنيهما لكن ثقل  $\overline{ص ه ر ص}$  المتكوّن منهما المتحد  
 السلك في كل من طرفيه يكون بالبداهة متوازيّا عند تعليقه من منتصفه بقوة  
 واحدة وليكن  $\overline{ث}$  رمز هذا المنتصف فتكون محصلة قوتي  $\overline{س و ص}$

وهي  $\overline{ر}$  مارة بنقطة  $\overline{ث}$  المذكورة

فاذا فرض عكس طرفي  $\overline{ا ث}$  بأن جعل احدهما موضع الآخر وكانت قطعة  
 $\overline{ث}$  موضوعة على  $\overline{ا ث}$  حدث بالبداهة هذا التساوي وهو

$$\overline{ا ث} = \overline{ا ث} = \overline{ر ص}$$

$$\overline{ا ث} = \overline{ر ث} = \overline{ا س}$$

وعلى ذلك تكون نقطة  $\overline{ث}$  واقعة على قطعة  $\overline{ا س}$  في منتصف  $\overline{ا س}$

فاذن ينبغي الوضع في  $\overline{ا س}$  على ابعاد متساوية من  $\overline{ا س}$  و  $\overline{ر ص}$   
 المناسبين لقوتي  $\overline{ر ص}$  و  $\overline{ا س}$  لاجل تحصيل نقطة وقوع المحصلة

ولنذكر هنا مثالا في شأن هذه الحقيقة يتعلق بجبر العربات بالخيول فنقول  
 يستعمل في ذلك غالبا هذه الطريقة وحاصلها انه اذا كان هناك ثلاث افراس

وهي  $\overline{س و ص و ز}$  (شكل ٦) مربوطة بجانب بعضها فان  
 القرسين المرموز اليهما بجرفي  $\overline{ص و ز}$  يكونان مربوطين بكنف العرب

وهو  $\overline{ا و}$  وتكون محصلتهما وهي  $\overline{ث ر}$  مساوية لمجموع قوتيها

وموضوعة في منتصف  $\overline{ا-}$  وهذه المحصلة تقع مباشرة على قوة القوس الثالث وعليه فتوضع نقطة  $هـ$  مرتين قريبا من  $\overline{ش ر}$  و  $\overline{د س}$  وهي نقطة وقوع قوتي  $\overline{ش ر}$  و  $\overline{د س}$  وبناء على ذلك تكون ايضا نقطة وقوع المحصلة الناتجة منهما وهي  $خ$  وقد يكون  $هـ خ$  متجها على محور العربية الطولي

وليفرض كما في (شكل ٤) أن قوة  $\overline{ر} = \overline{س} + \overline{ص}$  تفوق على قوة  $\overline{ص}$  قليلا قليلا حيث أن  $\overline{س}$  تنقص كثيرا كثيرا فإذا فرض في مساواة  $\overline{ر} \times \overline{ث} = \overline{س} \times \overline{ا-}$  أن  $\overline{ر} > \overline{ث}$  ولا يتغيران فلا خفا أنه كلما نقص  $\overline{س}$  ازداد  $\overline{ا-}$  وإذا كانت قوة  $\overline{س}$  محولة بالتوالي الى نصف طولها الاصلى "او ثلثه او رבעه او غير ذلك لزم أن يكون بعد  $\overline{ا-}$  مضعفا من ثلث وربع وهكذا الاجل لخط حاصل  $\overline{س} \times \overline{ا-}$  وإذا بلغ  $\overline{ا-}$  في الكبر ما بلغ فانه يوجد دائما مقدار صغير لقوة  $\overline{س}$  التي لا مانع من مكافئتها للمساواة المتقدمة فاذن يفوق  $\overline{ر} = \overline{س} + \overline{ص}$  على  $\overline{ص}$  بكمية يسيرة وهي  $\overline{س}$

ويحدث من ذلك القضية المشهورة وهي انه لا يمكن توازن قوتين كقوتي  $\overline{ص}$  و  $\overline{ر}$  مع قوة ثالثة كقوة  $\overline{س}$  متى كانتا متساويتين ومتوازيتين ومتجهتين الى جهتين متضادتين وإذا بلغت قوة  $\overline{س}$  في الصغر والتباعد ما بلغت فانها لا تبلغ في ذلك حد الكفاية

وحيث ان القوة الكلية لا يمكن أن توازن قوتين متساويتين ومتضادتين ومتوازيتين يلزم أن لا يكون لهاتين القوتين محصلة كلية قابلة لان تسير الجسم الى الامام على خط مستقيم فاذن يحدث عن هاتين القوتين المتساويتين المتضادتين المتوازيتين على الجسم الواقعتين عليه تأثير آخر بخلاف التأثير الذي يسيره على مستقيم واحد وسيأتى الكلام على ما يكون للجسم من قوانين التحرك الجديد في الدرس الرابع بعد توضيح ما يتعلق بالتحركات الحادثة على مستقيم واحد

ولنرجع الى تاثير القوى المتوازية التي يمكن أن يكون لها محصلة ونذكر في شأنها قاعدة شهيرة فنقول

مضى كان هناك قوتان كقوتى  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  واقعتان هوديا على قضيب  $\overline{أب}$  (شكل ٧) فاذا انحرقتا بالسوية بشرط انه لا يتغير توازيهما في  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  كانت محصلتهما وهى  $\overline{ر}$  المساوية لمجموعهما دائما واقعة على نقطة  $\overline{ث}$  وحيث لا يكون لوضع نقطة الوقوع ولا مقدار المحصلة تعلق بميل هاتين القوتين المتوازيتين بالنسبة للمستقيم الواصل بين نقطتي وقوعهما ثم ان هذه الخاصية وهى خاصية التحرك التى هى بحسب الظاهر فى غاية السهولة لها نتائج عظيمة وغرات جسيمة فى علم الميكانيكا والصناعة ولندكر الخواص الاصلية فنقول

اذا فرض ان هناك ثلاث قوى متوازية كقوى  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  و  $\overline{ز}$  واقعة على ثلاث نقط ليست على مستقيم واحد (شكل ٨) وان  $\overline{أس}$  و  $\overline{بص}$  و  $\overline{ثز}$  دالة على اتجاهات تلك القوى كان لقوتى  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  فى مبدأ الامر محصلة  $\overline{ر}$  الواقعة على نقطة  $\overline{د}$  والمساوية  $\overline{س} + \overline{ص}$  والموضوعة على وجه بحيث يحدث عنه هذا التناسب

$$\overline{دأ} : \overline{دب} :: \overline{ص} : \overline{س}$$

ثم يكون لقوتى  $\overline{ر}$  و  $\overline{ز}$  محصلة  $\overline{ض}$   $\overline{ر} = \overline{ض} - \overline{ز}$   $\overline{س} = \overline{ض} + \overline{ص}$  فتتكون نقطة الوقوع وهى  $\overline{ه}$  لمحصلة  $\overline{ض}$  موضوعة بحسب هذا التناسب

$$\overline{ده} : \overline{هث} :: \overline{ز} : \overline{ر}$$

فاذا تقررهنا وتغير اتجاه جميع القوى بدون أن يتغير توازيها او كان وضع نقطتي  $\overline{د}$  و  $\overline{ه}$  غير متعلق باتجاه تلك القوى يلزم أن يكون هذا الوضع باقيا على حالة واحدة وعلى ذلك ففى تغير اتجاه القوى المتوازية الواقعة على  $\overline{أ}$  و  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  على اى وجه كان بحيث لا يعدم توازيها فان نقطة وقوع المحصلة تكون دائما نقطة  $\overline{ه}$



فإذا كانت القوى اربعا او خمسا اوستا فان نقطة وقوعها لا تتغير ولو تغير اتجاهها  
جميع القوى المركبة معا بشرط أن تكون باقية على توازنها  
هذا ويمكن أن نعتبر الجسم كمجموع عدة اجزاء صغيرة مادية مندفعة جهة  
الارض بواسطة قوى اتجاهاتها متوازنة تقريبا ويمكن اعتبار تلك الاجزاء  
كالقوى في التوازي بدون خطأ بين

فإذا كان الجسم في وضع وادير الى آخر واقضى الحال البحث في كل وضع من  
نقطة وقوع القوة الكلية المحصلة من ثقل كل جزء صغير من الجسم فانا نجد  
دائما نقطة واحدة وهي نقطة شهيرة تعرف بمركز الثقل

وبواسطة التجربة نتحقق من خاصية الاجسام عند تعليقها بخيط في اتجاهات  
مختلفة وتوازنها فيكون هذا الخيط بالبداية تابعا لاتجاه محصلة ثقل جميع  
اجزاء الجسم ويعلم من ذلك انه يكون دائما في اتجاه مارب نقطة منفردة وهي  
مركز الثقل

ولخاصية مركز الثقل بالنظر الى القانون فوائد عظيمة في تحرك الاجسام  
ولنفرض أن جسما ذا شكل ما يتحرك على مستقيم واحد بدون أن يدور فكل  
من اجزائه الصغيرة التي يطلق عليها اسم العناصر يكون مدفوعا بقوة مناسبة  
أولا للسرعة المشتركة وثانيا لكمية المادة التي يحتوي عليها هذا العنصر  
وفي التحرك المستقيم الذي كلامنا فيه يتحرك كل عنصر على مستقيم واحد  
فيكون مدفوعا بقوة متجهة الى جهة هذا المستقيم ومناسبة أولا لجسمه  
وثانيا لسرعته

ولنفرض مثلا جسما طوله متر واحد فاذا جعلنا هذا الطول قاعدة لمثلث  
رأسه في مركز الارض حدث عن ذلك مثلث ليست قاعدته جزءا من ستة من  
مليون من ارتفاعه ولا يحدث عن ضلعيه الطويلين الدالين على اتجاه التناقل  
زاوية مساوية بجزء من مائة من الف من الدرجة الواحدة وهذه الزاوية لا يمكن  
قياسها باعظم الآلات مع الضبط والصحة  
وبجميع هذه القوى المتقدمة محصلة واحدة موازية لاتجاهها المشترك ومساوية

لجميعها ومارة بمركزها وهي هنا مركز ثقل الجسم  
وعلى ذلك يتحرك الجسم بهذه المثابة اعني يتبع مستقيما واحدا بدون دوران  
وذلك باحد شروط ثلاثة وهي

(اولا) أن يكون كل من عناصر الجسم مدفوعا بقوة واحدة مناسبة لجسم  
هذا العنصر ومتجهة الى اتجاه معلوم

(ثانيا) أن يكون الجسم كله مدفوعا بقوة واحدة موازية لاتجاه معلوم  
ومرة بمركز ثقل الجسم

(ثالثا) أن يكون مدفوعا بقوة متوازية لها محصلة واحدة مارة بمركز  
ثقل هذا الجسم

فعلى ذلك اذا اريد منع الجسم الذي يسير الى الامام على مستقيم واحد عن  
التحرك بالكلية بواسطة قوة واحدة لزم أن يكون اتجاه هذه القوة مارة بمركز  
ثقل الجسم

واما اذا اريد منعه عن التحرك بواسطة عدة قوى فيلزم ان تكون محصلة  
هذه القوى مارة بمركز ثقله

وقد اثبتنا فيما سبق انه اذا علق او اسند جسم من نقطة واحدة فشرط التوازن  
أن يكون مركز ثقل الجسم ونقطة التعليق موجودين معا على مستقيم رأسي  
واحد ومتى اريد تعليق جسم في وضع معين لزم أن تتوهم مستقيما رأسيا مارة  
بمركز ثقل ذلك الجسم ونضع نقطة الارتباط على الرأسى المذكور وسيأتى لك  
في الدرس الذى نتكلم فيه على وضع مركز ثقل المربع والمستطيل والمعين  
والدائرة والقطع الناقص ونحوها ان البراويرالتى تعلق في البيوت وتكون  
على شكل من هذه الاشكال لها نقطتا تعليق وارتباط موضوعتان مع مركز  
ثقلها على مستقيم رأسي واحد ومن هذا القبيل الخفاف المعلقة في قباب  
الكائنات وسقوف المقاعد والدلاء المربوطة بالحبال لاعتراف الماء والتزول  
في المعان.

وبالجملة فمعرفة وضع مركز الثقل عملا بالآدمنه للصناعة سواء وضعوا اجساما

ساكنة في وضع معلوم او يبروها على مستقيم واحد بدون دوران او منعوا  
تحرك الاجسام التي تسير بهذه المثابة

ثم ان جسم الانسان له مركز ثقل كغيره من الاجسام الا ان هذا المركز  
يتغير وضعه متى حرك الانسان اعضاؤه او جعل شيئا ما وذلك لان  
الحامل والمحمول معا يعتبر لهما مركز ثقل واحد تقربه محصلة ثقله وقل حمله

فاذا وقف الانسان مع الاعتدال والاستقامة الثامنة ( شكل ٩ )

( وشكل ١٠ ) امكن أن نعتبر اخصيه كنهة قطي وقوع القوى المتوازية

المؤثرة من اسفل الى اعلا والدالة على قوة مقاومة الارض التي يكون بها

هذا الانسان وجميع قوى المقاومة محصلة واحدة رأسية واقعة على نقطة

معلومة كنقطة أ

ولاجل توازن ذلك يلزم أن تكون المحصلة مارة بنقطة غ التي هي مركز

ثقل الجسم الانساني لان هذا الجسم بدون ذلك يكون مجذوبا الى الجهة

التي يكون بها مركز ثقله ويكون محقق الوقوع مالم يبادر بتوصيل هذا المركز

الى وضع محصلة قوى المقاومة الرأسية بأن يميل بعض اعضائه الى الجهة المقابلة

لجهة السقوط

فاذن يلزم ان مركز ثقل الجسم الانساني يعتبر كما انه يتغير في كل وقت تقريبا

بالتحركات التي تستدعيها حاجة الانسان اوحفظه

ومن المهم في الفنون المستطرفة وفي كثير من فروع الصناعة معرفة الاوضاع

المتنوعة التي يمكن أن يأخذها مركز ثقل الانسان

فينبغي للمصورين والنقاشين أن يعرفوا هذه الاوضاع معرفة كافية

حتى لا يضعوا اشكالها في وضع فاسد اى في وضع لا يمكن للانسان

أن يقف فيه مع الاستقامة بدون أن يسقط ولا شأن أن هذا العيب كاف

في الاخلال بجودة الصناعة وضياع انتظام الفنون المستطرفة

فاذا فرض ان بعض المصورين رسم صورة انسان حامل على ظهره

( شكل ١١ ) حلا كبيرا وجعله في وضع تام الاستقامة كان ذلك

مخالف القوانين الميكانيكا ولحقيقة الرصد (وقدر مرنا في جميع ما يأتي من العبارات والاشكال بحرف غ الى مركز ثقل الجسم الانساني وبحرف غ الى مركز ثقل الحامل والمجول معا)

وبالجملة فالتوازن يقتضى ان شطة غ التي هي مركز الحامل والمجول الاعتبارين بجسم واحد تكون على المستقيم الرأسى الحادث عن اخص الانسان لاجل المقاومة لكن اذا كان الانسان معتدلا وكان مركز الثقل يميل الى جهة الخلف حتى يخرج عن المسافة المشغولة باخصى الرجلين فانه حينئذ يقع هو ومجوله الى جهة الخلف

وللعقال معرفة تامة بهذه القاعدة الميكانيكية فانه بمجرد ما يضع الرجل على ظهره يشرع في امالة الجزء الاعلى من جسمه الى الامام كما تراه في (شكل ١٢)

ليكون مركز الثقل المشترك بين الجسم والجل على مستقيم رأسى لائق فاذا كان الجل باقيا على ثقله فانه كلما كان مركز ثقله بعيدا عن مركز ثقل جسم الحامل كان المركز المشترك بينهما مائلا الى الخلف وكان العتال مجبورا على أن يميل الى الامام ولا يزال كذلك حتى ينتهي امره الى اخذ وضع متعب وربما تعذر اذا كان الجل عظيم الحجم كما تقدم في (شكل ١٢)

فاذا كان الجسم مسطحا من جهة وعريضا من اخرى فان العتال يستند بالجهة المسطحة على ظهره ويثقل حينئذ مركز ثقل الجل الى الامام مهما امكن وبذلك يمكنه عند حمل ثقل معلوم أن يميل قليلا بقدر الامكان ليكون متوازنا مع الجل

ومن الانتقال الى لاعتد خفيفة جرنيدية العسكرية التي يحملها على ظهره وقد كانت الجرنيديات القديمة المهذبة بالكلية ينشأ عنها ضرر كالضرر الناشئ عن الجل المذكور في (شكل ١٢) فكان مركز ثقلها مائلا الى الخلف بالكلية فبذلك كان الراجل مجبوروا على أن يكون الجزء الاعلى من جسمه مائلا الى الامام بالكلية حال السير وكان ذلك بموجب قوانين صعبة صادرة عن او امر غوطية فلما تفكروا في خواص مراكز الثقل ادركوا فائدتها

وصنعوا للعساكر جربنديات عريضة ومسطحة (شكل ١٣) مركز ثقلها يميل الى الخلف قليلا اذا حملها العساكر على ظهره من جهتها العريضة وهذا التخفيف الضروري معدود من العمليات السهلة المتعلقة بقضية مركز الثقل النظرية وكان العساكر قبل عمل هذه الجربنديات يقربون يحملون على ظهورهم مع المشاة جربنديات ردة الشكل وقد ينشأ عن الحمل الموضوع في جهة الامام تأثير مضاد يجبر الحامل على الميل الى جهة الخلف لاجل أن يحفظ التوازن على قدميه مالم يقصد وضعا لا تكن الاقامة به بدون أن يكون عرضة للسقوط (شكل ١٤)

فانظر الى بائعة السمك (الافرنجية) مثلا (شكل ١٥) فانك تجد حاملها المربوطة بالاربطة معلقة امامها تعليقاً اقويا وراها عند الوقوف على غاية من الاعتدال الآن اعلى جسمها يكون مائلا مع رأسها الى جهة الخلف ولما كانت في الغالب تستند يديها على فخذيها كان ذراعاها ايضا مائلين الى تلك الجهة وهذه العادة وان كانت جارية في الناس لقصد حيازة الهيبة والوفار الا ان هذه المرأة لم تكن تفعلها الا ليكون مركز ثقل جسمها وذراعيها مائلا الى خلف بقدر الامكان لتوازن حملها

وكذلك الحبلبي (شكل ١٨) فانها اذا عظم حملها وثقل تكون مجبورة كبائعة السمك على امالة اعلى جسمها الى خلف ولو جرت العادة بانها حال المشي تستند يديها على فخذيها حتى تكون ذراعاها مائلتين الى خلف لكانت في الغالب تمشي مشيا قويا

وكذلك من تجاوزوا الحد في الغلظ (شكل ١٧) فانهم مجبورون على الاستقامة والاعتدال على الوجه الذي عليه السماكة والحبلبي واذا اريد امالة ثقل جسم الى جهة الامام لزم تقديم الارجل كثيرا نحو تلك الجهة وامالة منتصف الجسم الى جهة الخلف بالكلية ليكون مركز الثقل مائلا الى خلف بقدر الامكان (شكل ١٦)

وقد ذكر حنايا كس رسو أن النساء لا يعرفن كيفية الجري وانهم يعددون

في تلك الحالة اذرعهن الى خلف لانهن عند الجرى يملن باعلى جسمهن الى الامام بالسكينة وذلك يستلزم استعمال الاذرع المتقدمة لاجل التوازن فاذا كان السقاء الافرنجي يحمل باحدى يديه دلوا واحدا (شكل ٢٠) فان مركز ثقل الحامل والمحمول لا يكون مائلا الى جهة الخلف ولا الى جهة الامام كافي الصور المتقدمة وانما يكون مائلا الى جهة غيرهما وحيث ان يلزمه أن يميل الى الجهة المقابلة لتلك الجهة وذلك يوجب التعب دائما ومن هذا القبيل ايضا الموضع التي تحمل الطفل على احدى ذراعيها (شكل ١٩) ومثل هذه المشاق الخالية عن الحدود ينبغي اجتنابها واستبدالها بكيفية اخرى بأن يجعل الانسان ما يحمله على جزئين متقابلين من جسم بالسوية فيعمل السقاء مثلا دلوين (شكل ٢٢) والموضع طفلين متساويين في الثقل (شكل ٢١)

وتم نساء ضعيفات يحملن على رؤسهن مع السهولة انتقالا جسيمة (شكل ٢٣) بحيث يكون مركز ثقل الحمل في الوضع الرأسى مع مركز ثقل الجسم فيكون مركز ثقل الحامل والمحمول مرتفعا لكنه يكون دائما على رأسى واحد فاذن لا تحتاج المرأة الحاملة الى الميل من اى جهة كانت لاجل حفظ توازن وضعها الطبيعى

واول ما اخترعه الناس من المخترعات الميكانيكية بعد أن كانت اشغالهم لا طائل تحتها هو الخرج الذى له جهة واحدة او جهتان متساويتان وهو مثقوب من وسطه ليدخل به الباطى رأسه (شكل ٢٤) فاذا جى الخراج وضعه في جهتي الخرج القدامية والخلفية حتى تمتلا بالسوية بحيث لا يغير مركز ثقل الحامل والمحمول وضعه الرأسى بل يبقى عليه دائما وحيث ان يمكن في استعمال الخرج المذكور أن يوضع في جهتيه بدون مشقة حمل عظيم

فاذا فرضنا ان انسانا وقف على رجله مع الاعتدال ثم رفع احدهما على حين غفلة وصار واقفا على رجل واحدة فان بقى جسمه على اعتداله فلا شك انه يقع من جهة الرجل المرفوعة فيلزمه لاجل منع هذا الوقوع ان يميل بجسمه قليلا

الى جهة الرجل الثابتة في الارض بحيث يكون مركز الثقل موضوعا على  
المستقيم الرأسى المار بالجزء المشغول بهذه الرجل من الارض  
فمن ثم كان الناس في حال المشى يميلون قليلا بدون اشعار الى جهتي اليمين والشمال  
بالتعاقب على حسب ارتفاع الرجل اليميني او اليسرى ( شكل ٢٥ )  
وقد يكون هذا التحرك المتعاقب محسوسا للانسان بالكلية اذا وقف أمام بلولة  
من العساكر سائر على صف واحد بالتساوى وذلك لانه يرى ان هذا البلولة  
يميل ذات اليمين وذات الشمال عند نقل كل خطوة مع غاية الانتظام والاتحاد  
في السير

فيكون هذا التحرك الخفيف الحاصل ذات اليمين وذات الشمال الذي ينشأ عنه  
وضع مركز الثقل الثابت في غاية الصعوبة والمشقة على شخصين كل منهما  
قايض على ذراع صاحبه وماش مع النشاط والخفة مالم يسيرا على مهل معا  
فان مركز ثقل احدهما بدون ذلك يكاد يقع جهة الشمال تحقيقا متى كاد  
مركز ثقل الاخر يقع جهة اليمين وبناء على ذلك اذا كانت رجلاهما الداخلتان  
موضوعتين على الارض فان هذين الشخصين يتصادمان او يتدافعان  
واما في صورة العكس وهى ما اذا كانت رجلاهما الخارجتان على الارض  
فانهما يتجاذبان ويكادان أن يتفصلا عن بعضهما وبذلك يكون ذراعاهما  
في غاية التعب

وقد ترتب على ما ذكرناه من الادلة في شأن العساكر المشاة الذين يلزمهم بموجب  
الترتيب الجارى الآن أن يسيروا مع قماش اذرعهم بعضها البعض منفعة عظيمة  
وهى جبر جميع الناس المتماسين على أن يسيروا معا قدم باقدا لانه بدون ذلك  
لا يمكن استمرار اذرعهم على المعاسة حيث انه اذا مال انسان منهم بحسبه  
الى الجهة اليميني مال الاخر بحسبه الى اليسرى فيختل صفهم وتتفرق جميعتهم  
ولاجل حصول الانتظام والاتحاد في جميع الحركات بمجرد الشروع في السير  
يجب على العساكر جميعا أن يبدؤوا بتدريج رجل واحدة وهى اليسرى حسبما هو  
متفق عليه ومن هنا تعلم ان الباعث لهم على نقل رجل واحدة عند السير المنتظم

من متعلقات قضية مركز الثقل النظرية هذا ويظهر في فن الرقص من تطبيقات هذه القضية وعملياتها ما هو أكثر تنوعاً من السير وليس هذا محل البحث عن دروس معلى الرقص الرموزى او غيره من انواع الرقص حتى نتعرض فيه لذكر هذه التطبيقات لكن حيث اتنا بصدد الكلام على قاعدة التحرك وهو موجود في السير والرقص والتجربن على النط والوثوب حتى أن تكلم هنا على التطبيقات المذكورة فنقول

اذا فرض ان الراقص او الابلوان رفع رجله اليمنى من الجهة اليمنى مثلاً وجب عليه في الحال أن يميل جزءاً من جسمه الى الجهة المقابلة لتلك الجهة حفظاً للتوازن لكن حيث كان يلزم أن تتحركت الجسم تكون صغيرة مهما امكن ليكون ما يبدل في ذلك من الجهد قليلاً غير ظاهر مع السهولة والخفة لزم أن يمد الراقص او الابلوان ذراعه الايسر الى الجهة اليسرى فاذا كانت الرجل اليمنى متأخرة الى خلف لزم أن يكون الذراع الايسر متقدماً الى أمام فيكون على صورة مركور (اي عطارد) الطيار اللطيفة (شكل ٢٦) وعلى صورة رئومي ايضا (اي الشجرة)

واما مقابلة تحركات الاذرع بتمركات الارجل لحفظ مركز الثقل على رأسى واحد فذلك مما لا بد منه لتطاطى الحبال الذين يتطون بلاميزان معهم فيكون التحرك حيثئذ محسوساً مشاهداً والفرض الاصلى من الميزان المذكور هو تحويل مركز ثقل الجسم والميزان معا على رأسى ماراً بالحبل

وكثيراً ما عاينت اناس يمشون مع العجلة ويبرزون اذرعهم بكثرة ويطرحونها الى اى جهة من الجهات عوضاً عن كونهم يطرحونها الى الخلف او الى الامام كما هي عادة معظم الناس \* ووجب الملحوظات المقررة في شأن الطريقة التى يكون فيها مركز الثقل مائلاً في كل خطوة الى جهة الرجل الثابتة على الارض يرى أن الاذرع تميل بواسطة التحرك الطبيعى الى جهة الرجل المرتفعة لاجل تحويل مركز الثقل الى اتجاه السير فهو لاه الناس الذين يراعون هذه الملحوظات يكونون في مشيهم أكثر استقامة واعتدالاً من الاول



ثم ان مراعاة مركز الثقل هي من اهم الاشياء في فن ضرب الشيش  
فاذا كان ثقل الجسم مائلا كما هو العادة الى الرجل اليسرى المتأخرة الى خلف  
لزم أن يكون مركز ثقل الجسم موضوعا على مستقيم رأسي مائلا دائما بالرجل  
المذكورة وهذا بعينه هو الذي يجبر الانسان على أن يميل كثيرا باعلا جسمه  
الى خلف ويمتد به اليسرى الى تلك الجهة لاجل توازن الذراع الايمن والساق  
الايمن المتقدمين الى امام وبالجملة فادنى ضربة من الشيش المعدل للتعليم تقلب  
الضارب اذا كان مركز ثقله مائلا جدا الى خلف وفي صورة العكس وهي  
ما اذا كان المركز المذكور مائلا الى الامام يحصل للضارب تعب عظيم متى مال  
بجسمه الى خلف وربما كان عرضة للخطر يغطي هذا التحرك  
وسياتى في الدرس الذي تكلمنا فيه على تحرك الدوران ان مراكز الثقل لها  
تأثير مهم في التحرك المذكور كما ان لها تأثيرا مهما في التحرك المستقيم

### \* (الدرس الرابع) \*

\* (في بيان مراكز ثقل الآلات ومحصلات الصناعة وفي كمية القوى) \*

اعلم ان ما سلفناه من الامثلة في الدرس المتقدم يكنى دليلا على ان من اهم  
الاشياء في كثير من الفنون والصنائع تعيين الوضع الحقيقي لمركز ثقل  
من الاجسام المتنوعة الشكل وكذلك تعيين مركز ثقل الاجزاء النابتة  
والاجزاء المتحركة من سائر الآلات

فاذا وسقت عربة ذات عجلين فلا بد أن لا يكون ثقل الجمل موضوعا امام المحور  
ولا خلقه لانه في الصورة الاولى ان لم تلتف القرص من الجمل يلحقها مشقة عظيمة  
بدون أن يتقص شيء من الجهد والتعب اللازم بلتر العربة وفي الصورة الثانية  
يكون ثقل المؤخر اعظم من ثقل المتقدم فان لم تضطرب العربة بذلك وتترزل  
ارتفع القرص وصار بعيدا عن الارض وربما ترتب على هذا الجهد والمشقة  
خطر عظيم عند الصعود على جانب جبل منحدر انحداراينا

ولا بد في عمارة السفن وانتظام وسقها وتصيرها ولوازمها وادواتها من حساب  
وضع مركز ثقل كل جزء من السفينة وكل شيء احتوت عليه لاجل معرفة

مركز ثقل الجميع ولاجل التحقق من استيفائها لشروط التوازن والثبات كما سيأتى (في الجزء الثالث عند ذكر القوى المتحركة)

فإذا كان ثقلان متساويان ومعتبران كنقطتين ماديتين مرئيتين بطرف قضيب غير لين وفرضنا أنه لا تتناقل له فإن مركز ثقل مجموعهما يكون في منتصف المستقيم

ونقطة  $\overline{ع}$  التي هي مركز ثقل مستقيم ثقيل كـ  $\overline{مستقيم}$   $\overline{أب}$  (شكل ١) المبين بسلك معدنى متحد السمك في جميع جهاته موضوعة في منتصف طول هذا المستقيم لأنه إذا علق من منتصفه فلادعى لأن تكون إحدى جهتيه أرجح من الأخرى بل يكون التوازن باقيا على حالة واحدة مهما كان ميل هذا المستقيم والنقطة التي يكون هذا التوازن الثابت حاصلًا حولها هي مركز ثقل المستقيم المذكور

فلا يخفى أنه إذا وضع منتصف قضيب أفقي متحد السمك في جميع طوله على طرف أصبع أو على طرف شيء ما فإنه يكون متوازنا وكذلك إذا علق من منتصفه وسيأتى عند الكلام على الرافعة أن توازن الميزان من جملة تطبيقات هذه القاعدة

ونفرض الآن أن المطلوب مركز ثقل مجموع مستقيمي  $\overline{أب}$  و  $\overline{ثد}$  (شكل ٢) المنتظمي التناقل في جميع طولهما بحيث تكون أطوالهما دالة على ثقلهما

فيمكن أن نعتبر أن ثقل مستقيم  $\overline{أب}$  محصور في منتصفه وهو نقطة  $\overline{هـ}$  وثقل  $\overline{ثد}$  محصور أيضا في منتصفه وهو نقطة  $\overline{ف}$

فيحدث بذلك قوتان متوازيتان أحدهما واقعة على  $\overline{هـ}$  والأخرى على  $\overline{ف}$  وكلتا هاتئنا يدل عليه  $\overline{أب}$  و  $\overline{ثد}$  فتكون محصلتهما مدلولًا عليهما بمجموع  $\overline{أب} + \overline{ثد}$  وتكون نقطة وقوعها هي  $\overline{ش}$  على مستقيم  $\overline{هـ ف}$  مبنية بهذا التناسب وهو

$$\overline{أب} : \overline{ثد} :: \overline{ش ف} : \overline{ش هـ}$$

الذي يمكن وضعه بهذه الصورة

أب + شد : أب :: ش ف + ش ه أو ه ف : ش ف  
ويخرج من ذلك أن

$$\frac{\text{أب} \times \text{ه ف}}{\text{أب} + \text{شد}} = \text{ش ف}$$

وبذلك يعلم مقدار الحد الرابع من هذا التناسب ( كما تقدم في الدرر الخامس من الهندسة )

ويسهل بالقاعدة التي ذكرناها انما معرفة مركز ثقل ما يراد من المستقيمات الثقيلة وذلك بأخذها منى فإذا كان المطلوب مثلاً تحصيل مركز ثقل مستقيمات متساوية منها كثير اضلاع مستقيم مثل أب شد ( شكل ٣ ) فانك تأخذ نقط تصيف اضلاع أب و بث و شد الخ وهي أ و ب و ث الخ فبواسطة القاعدة المتقدمة تجد على مستقيم أ ب نقطة س وهي مركز ثقل مستقيمي أب و بث وإذا مددت مستقيم س ث واعتبرت أن ثقل مستقيمي أب و بث محصور في نقطة س التي هي مركز ثقلهما كانت نقطة س هي مركز ثقل أب + بث و شد فبعد أيضاً ان نقطة ز مركز ثقل أب + بث + شد و د أ فتكون هذه النقطة مركز ثقل المستقيمان الأربعة وهي أب و بث و شد و د أ

ومما يقع التلامذة فترنهم على عمل كثير الاضلاع مثل أب شد الخ من سلك حديد يربطون به خيوطاً من حرير كخيوط أ و س و ث و ه الخ فيجدون وضع مركز ثقل كثير الاضلاع المذكور على غاية من الضبط ثم يعلقون هذا الشكل بخيط جديد على التوالي من نقطة أ ومن نقطة ب ومن نقطة ث وهكذا فيرون أن الشاقول الموضوع بجوار خيط التعليق يمر دائماً بمركز ثقل كثير الاضلاع المذكور فيه صورون حينئذ بالتجربة خاصية مراكز الثقل تصوراً واضحاً سهلاً وبهذا التمرين يعرفون عملية مفيدة جداً

ويجبرون على ممارسة المساعدة الهندسية المقررة في شأن المستقيمات المناسبة  
(كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

وقد بسطنا الكلام في الجزء المتعلق بالهندسة على شكل الخطوط المتماثلة  
والسطوح المتماثلة والججوم المتماثلة وخواصها ولاهتمام بتأمل الاشكال من  
اعظم ما يكون عند الميكانيكي والمهندس وان كان الصانع لا يهتمون  
بهذا الغرض

وليكن كما في (شكل ٤) شكل  $ABDE$  مثلثا متماثلا  
بالنسبة لمحور  $AE$  ولتكن نقطة  $G$  مركز ثقل محيط  $ABDE$   
الموضوع على شمال محور التماثل

فاذا تينا جزء الشمال على جزء اليمين فانهما يطبقان على بعضهما انطباقا تاما  
وحيث انهما لا يختلفان لافي المقدار ولا في الصورة ولا في الوضع لزم أن يكون  
مركز ثقلهما موجودا في نقطة واحدة فاذن تكون نقطة  $G$  التي هي مركز  
ثقل  $ABDE$  في وضع متماثل بالنسبة لنقطة  $G$  بمعنى ان  $G$  و  $G$   
يكونان على بعد واحد من المحور وموضوعين على مستقيم  $GG$  العمودي  
على هذا المحور وحيث ان محيط  $ABDE$  و  $ABDE$   
المتماثلين متساويان في الثقل كايامدلولاهما عليهما بقوتين متساويتين احدهما  
واقعة على  $G$  والاخرى على  $G$  وكانت محصلتهما المساوية لجموعهما  
واقعة على منتصف مستقيم  $GG$  اعني في نقطة  $GG$  على محور التماثل  
فاذن ثبت المطلوب

ومركز ثقل اي خط تماثل يكون بالضرورة موضوعا على محور التماثل  
ولننبه على ان المسطح المستوي المنتهي بمحيط تماثل يكون متماثلا بالنسبة  
للمحور المتقدم كالمحيط المذكور

ويمكن أن يفرض أن هذا المحيط ينتهي به السطح المستوي الثقيل في جميع  
جهاته كفرخ من ورق اولوح من معدن فاذا كانت قطعتا  $G$  و  $G$   
التين على مركزى ثقل المسطحين الموضوعين على يمين محور التماثل وشماله

فان مستقيم  $\overline{غ غ}$  يكون عمودا دائما في نقطة  $\overline{غ}$  على المحور ويكون  
 $\overline{غ غ} = \overline{غ غ}$  فاذن يكون مركز ثقل كل مسطح مستو متماثل  
 موضوعا على محور التماثل واذا علق في نقطة من المحور براويز ذات شكل مائل  
 متماثل فان محور التماثل يكون موجودا دائما في وضع رأسي وبالجملة فنقل  
 الشكل المذكور يكون مؤثرا كالأول كان محصورا كله في مركز الثقل وزيادة  
 على ذلك يكون اتجاها هذه القوة الرأسية مارة افرضا بنقطة التعليق او الارتباط  
 الثابتة فاذن تعدد القوة بالمنازع المذكور (وهو التعليق) وعليه فيكون  
 البرواز متوازنا

والمنازل الافرجية من خرفة بكثير من البراويز المتماثلة اياتا كان شكلها  
 ونقطة تعليقها موضوعة على محور التماثل لانه ان لم يكن وضعها بهذه المثابة  
 كانت قبيحة المنظر

ولئذ ذكرنا بعض امثلة سهلة لاجل ايضاح الملاحظات العامة التي اسلفناها  
 ونرمز بصرف  $\overline{غ}$  في جميع الاشكال الآتية الى مركز الثقل فنقول

ان  $\overline{غ}$  الذي هو مركز ثقل المحيط او مسطح البرواز المثالي المتماثل مثل  
 $\overline{ا ب ث}$  (شكل ٥) يكون موضوعا على رأسي مارة بنقطة  $\overline{آ}$  التي هي  
 رأس مثلث  $\overline{ا ب ث}$  ويمتصِف قاعدته وهي  $\overline{ب ث}$  فاذا علق هذا  
 البرواز من نقطة  $\overline{آ}$  التي هي رأس ذلك المثلث (شكل ٥) او من نقطة  
 $\overline{د}$  التي هي منتصف قاعدته وهي  $\overline{ب ث}$  (شكل ٦) وكانت هاتان

النقطتان موضوعتين على محور التماثل فان وضع توازن البرواز المذكور  
 يكون عين الوضع الذي يصير فيه محور  $\overline{ا د}$  رأسيا واذا علق برواز على شكل  
 شبه المنحرف المتماثل وهو  $\overline{ا ب ث د}$  وكان تعليقه أولا من نقطة  $\overline{ه}$   
 التي هي منتصف قاعدته الصغرى وهي  $\overline{ا ب}$  كما في (شكل ٧) وثانيا  
 من نقطة  $\overline{ف}$  التي هي منتصف قاعدته الكبرى وهي  $\overline{ب د}$   
 كما في (شكل ٨) فان التوازن يستلزم أن محور التماثل وهو  $\overline{ه ف}$   
 الممتد على  $\overline{غ}$  التي هي مركز ثقل المحيط ومركز ثقل سطح شبه المنحرف

يكون موجودا في وضع رأسي وما ذكرناه من البرهنة على أن مركز ثقل المحيط المستوي والمسطح المستوي التماثلين بالنسبة لمحور ما يكون موضوعا بالضرورة على هذا المحور يجري ايضا في الاشكال المنتهية بخطوط مستقيمة او منحنية ومن هنا تحدث الدعاوى اللاحقة وهي

كل قوس كهوس دائرة  $\overline{AB\Gamma}$  (شكل ٩) يكون تماثلا بالنسبة لنصف القطر وهو  $\overline{OB}$  المار بمتصف هذا القوس فاذن تكون نقطة  $\overline{G}$  التي هي مركز ثقل المحيط اوسط قوس الدائرة المذكور موضوعة على نصف قطر  $\overline{OB}$  وبناء على ذلك اذا علق قوس دائرة  $\overline{AB\Gamma}$  من منتصفه وهو  $\overline{B}$  كان طرفاه وهما  $\overline{A}$  و  $\overline{\Gamma}$  على افقي واحد ومتوازيين (وينبغي التنبيه على انه لا يكون لمركز الثقل في قوس الدائرة ولا في شبه المنحرف وضع كوضع مركز سطحهما)

ويجري ذلك في مسطح قطع  $\overline{AB\Gamma}$  وفي مسطح قطاع  $\overline{OAB\Gamma}$  واذا انعكس الشكل حدث وضع ثان للتوازن (شكل ١٠) فاذا كانت نقطة التعليق دائما على نصف قطر  $\overline{OB}$  فانه يكون في هذه الصورة كالتي قبلها باقيا على وضعه الرأسي

وحيث ان القطع المكافئ والقطع الزائد تماثلان بالنسبة للمحور المار برأسيهما فاذا اخذنا بالابتداء من رأس  $\overline{B}$  التي هي احد رأسي هذين المنحنيين (شكل ١١) جزأ  $\overline{BA}$  و  $\overline{B\Gamma}$  المتساويان من هذا المنحنى فان مركز ثقله يكون على المحور فاذا علق حينئذ هذا المنحنى من رأسه وهو  $\overline{B}$  فانه يكون متوازنا متى كان محور  $\overline{BD}$  تابعا لاتجاه رأسي

وهناك اشكال لها محورا تماثل مثل  $\overline{AB}$  و  $\overline{CD}$  كالمستطيلات (شكل ١٢ و ١٣) والمعينات (شكل ١٤ و ١٥) ففي هذه الاشكال يكون مركز الثقل وهو  $\overline{G}$  الذي يلزم أن يكون موجودا على كل من محوري التماثل في نقطة  $\overline{G}$  المشتركة بينهما اعني في مركز التماثل

فاذن يكون مركز ثقل المحيطات والمسطحات المتماثلة بالنسبة لمحورين موجودا في نقطة تقاطع هذين المحورين اعني في مركز التماثل  
والاشكال الكثيرة الاضلاع المنتظمة كلها متماثلة بالنسبة لعدة محاور ويظهر من ذلك كثير من نقط التعليق المتماثلة المتنوعة بقدر ما يوجد من محاور التماثل فاذن يكون مركز ثقل المحيط ومركز ثقل الاشكال الكثيرة الاضلاع المنتظمة كلاهما موضوع في مركز ثقل تماثل الاشكال الكثيرة الاضلاع المذكورة  
والقطع الناقص متماثل (شكل ١٦ و ١٧) بالنسبة لمحوريه وهما  $\overline{AB}$  و  $\overline{CD}$  فاذن تكون نقطة  $\overline{EG}$  التي هي مركز ثقل محيط القطع الناقص المذكور ومسطحه موجودة في مركز تماثل هذا المنحني  
والدائرة (شكل ١٨) متماثلة بالنسبة لكل من قطريها وهما  $\overline{AB}$  و  $\overline{CD}$  وعليه فيكون مركز ثقل المحيط ومسطح الدائرة موجودا في مركز الدائرة  
وفي اي نقطة من محيط برواز كثير الاضلاع منتظم او محيط قطع ناقص او محيط مستدير متعلق به هذا البرواز يكون مركز التماثل دائما في وضع رأسي مع نقطة التعليق

\*(بيان مركز ثقل السطوح)\*

لاجل تعيين وضع هذا المركز يفرض أن السطوح كافرغ من الورق او الواح من المعدن رقيقة جدا ومتحدة السمك في جميع جهاتها وتثليث المسطح

\*(بيان مركز ثقل المثلث)\*

اذا كان المطلوب تحصيل مركز ثقل سطح مثلث مثلث  $\overline{ABC}$  (شكل ١٩) فان هذا المثلث يقسم الى عدة قضبان متوازية ومتقاربة من بعضها جدا بحيث يمكن اعتبارها كاستقييات ثقيلة فيكون مركز ثقلها موجودا على مستقيم  $\overline{AH}$  الذي يقطعها كلها من منتصفها بموجب خاصية الخطوط المناسبة فاذن يكون مركز مجموعها وهو  $\overline{G}$  اعني مركز المثلث الكلي على مستقيم  $\overline{AH}$  الواصل من  $\overline{A}$  الى منتصف  $\overline{BC}$  وبمثل ذلك يبرهن على انه يكون موجودا على  $\overline{BF}$  وعلى  $\overline{CK}$  الواصلين من  $\overline{B}$  ومن  $\overline{C}$  الى

منتصفي  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\beta}$  فاذن يكون مركز ثقل المثلث موجودا في نقطة  $\overline{غ}$  المشتركة بين خطوط  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\gamma}$  الثلاثة ولكن حيث ان تقاطع  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\beta}$  موجودان في منتصف  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\gamma}$  فان مستقيم  $\overline{ا\theta}$  يكون موازيا للمستقيم  $\overline{ا\theta}$  فيحدث حيثئذ عن هذه الخطوط (كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة) هذا التناسب ١ : ٢ ::  $\overline{ا\beta}$  :  $\overline{ا\gamma}$  ::  $\overline{ا\theta}$  :  $\overline{ا\gamma}$  ::  $\overline{ا\theta}$  :  $\overline{ا\gamma}$  فاذن يكون  $\overline{ا\gamma} = \frac{1}{2} \overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\theta} = \frac{1}{2} \overline{ا\gamma}$  وبناء على ذلك يكون مركز ثقل المثلث موضوعا اقولا على المستقيم الواصل من رأسه الى منتصف قاعدته وثانيا في ثلث هذا المستقيم بالابداء من القاعدة

\* (بيان مركز ثقل ذي اربعة الاضلاع وهو  $\overline{ا\beta\gamma\delta}$ ) \*

اذا اريدت تحصيل هذا المركز (شكل ٤٠) عين من مبدأ الامر مركزا مثليا  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\delta}$  وذلك بإيصال  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\delta}$  الى منتصف  $\overline{ا\theta}$  واخذ  $\overline{ا\theta} = \frac{1}{2} \overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\theta} = \frac{1}{2} \overline{ا\delta}$  ثم اذا وصل كل من تقاطع  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\beta}$  بمستقيم  $\overline{و\theta}$  نحدث محصلة تقاطع  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\delta}$  و  $\overline{ا\gamma}$  =  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\gamma}$  =  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\gamma}$  =  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\gamma}$  =  $\overline{ا\theta}$  تكون نقطة  $\overline{غ}$  التي هي نقطة وقوع المحصلة مركز ثقل الشكل ذي اربعة الاضلاع المذكور ومن السهل تحصيل مركز ثقل الاشكال ذوات اربعة الاضلاع التي بها نوع انتظام

وفي شبه المنحرف وهو  $\overline{ا\beta\gamma\delta}$  مثلا (شكل ٢٢) يكون مركز الثقل وهو  $\overline{غ}$  موجودا على مستقيم  $\overline{ا\beta}$  الذي يقسم جميع المستقيمات الموازية للقاعدتين الى اجزاء متساوية ومركز ثقل سطوح متوازي الاضلاع والمعين والمستطيل والمربع يكون في نقطة تقاطع اقطارها كما تقدم في (شكل ٢١) و (شكل ١٤ و ١٥) وغيرها



وذلك لان كل قطر يقسم هذه الاشكال الى مثلثين متساويين والقطر الثاني  
القاطع للاول من منتصفه يحتوى على مركزى ثقل هذين المثلثين فاذن يكون  
مركز ثقل كل من الاشكال المذكورة موجودا على القطر الثاني وبمثل ذلك  
يبرهن ايضا على انه يكون موجودا على الاول فاذن يكون موجودا على كل  
من القطرين المذكورين وبناء على ذلك يكون موجودا فى نقطة تقاطعهما  
فاذا قسم اى سطح تماثل مستويا كان او منحنيا (شكل ٤) بتضبان  
متوازية وعمودية على محور التماثل فان مركز ثقل كل قضيب يكون موجودا  
على مستوى التماثل او محوره فاذن يكون مركز ثقل السعة التماثلة موجودا  
على مستوى التماثل او محوره

ومتى كان لسعة محورا او مستويا تماثل فان مركز ثقلها يكون فى نقطة تقاطع  
المحورين المذكورين التى هى مركز الشكل

وبناء على ذلك يكون مركز الثقل فى السعات المستوية التى لها محورا تماثل  
موجودا فى مركز التماثل كما تقدم اثبات ذلك فى الكلام على الهياطات التماثلة  
ولذا شرع الآن فى ذكر السعات والسطوح المنحنية فنقول

ان السطح المنحنى او المركب من عدة مستويات يكون تماثلا بالنسبة لمحور  
مضى كان لسلك قطع حادث من السطح عمودى على هذا المحور مركز تماثل موضوع  
على المحور المذكور وكذلك يكون الجسم المحدد بالسطح التماثل تماثلا بالنسبة  
لهذا المحور

فاذا فعل فى السطح او الجسم عدة قطوع عمودية على المحور وقريبة من بعضها  
قربا كافيا فانه يمكن اعتبار قطوع ذلك الجسم كسطوح بسيطة ثقيلة مركز تماثلها  
موضوع على المحور المذكور وحينئذ فتكون محصلة ثقلها موضوعة عليه  
وتكون محصلات هذه القطوع مارة كلها بالمحور المفروض رأسيا فاذن تكون  
المحصلة الكلية متجهة على هذا المحور وبالجملة فتكون مراكز ثقل اجزى  
والسطوح المنحنية التماثلة بالنسبة لمحور موضوعة على محور التماثل المذكور  
ومتى كان لجسم محورا تماثل كان له مركز تماثل موجود على هذين المحورين

وهذا المركز يكون ايضا مركز ثقل السطح او الجسم  
ويظهر لنا من الفنون كثير من الاشكال التي لها محاور تماثل كسائر سطوح  
الدوران فانها متى علفت من نقطة من محورها كان وضع توازن السطح او الجسم  
عين الوضع الذي يكون به المحور رأسيًا  
والنجفات المعلقة بجبل اوسلسلة في البيوت والسرايات والهياكل متماثلة دائماً  
بالنسبة للمحور وذلك ان النجفة تكون مربوطة في نقطة ما من نقط هذا المحور  
ويكون للمحور المذكور في وضع التوازن وضع رأسي ومن هذا القبيل شاقول  
أب (شكل ١٨ مكرر) فان ثقله وهو ب جسم متماثل بالنسبة  
للمحور مربوط به خيطه

وليس كون المحور رأسيًا مقصورا على الحالة التي تكون فيها النجفة ساكنة  
بل يكون كذلك في صورتين ايضا احدهما اذا كانت النجفة هابطة او صاعدة  
ومررت نقطة ارتباطها بمركز رأسها والثانية اذا كانت تدور على نفسها فتكون  
حينئذ باقية على وضعها الرأسي ما لم يعرض لها اصطدام تميل به من احدى  
جهاتها

ومن هذا القبيل ايضا الشاقول وبذلك الخاصة يتحقق العمل  
وساين ان الصناعة اكتسبت عدة عمليات عقلية من خاصية محاور التماثل  
وهي احتواء هذه المحاور على مركز ثقل الاجسام ولذا كقبل التوغل  
في ذلك خواص اخرى مهمة جدا تتعلق بالقوى المتوازية وبمراكز الثقل  
فنقول

\*(بيان مقادير القوى المتوازية)\*

معي كان لقوى س و ص (شكل ٢٤) المتوازيتين الواقعتين  
على نقطتي أ و ب من مستقيم أب محصلة كمحصلة ز واقعة  
على أب في نقطة و حدث

$$س \times وا = ص \times وب \text{ اي } س : ص :: وب : وا$$

فاذا مددنا مستقيم م و عمودا على اتجاها القوتين المتوازيتين

حدث هذا التناسب وهو  $\overline{و} : \overline{ب} : \overline{أ} :: \overline{و} : \overline{ه}$  : وم  
كما تقدم (في الدرس الخامس من الهندسة عند ذكر الخطوط المناسبة)

وبناء عليه يستبدل التناسب المتقدم بهذا التناسب وهو

$$\overline{س} : \overline{ص} :: \overline{و} : \overline{م}$$

الذي يحدث منه  $\overline{س} \times \overline{م} = \overline{و} \times \overline{ص}$

وحيث أن  $\overline{س}$  و  $\overline{م}$  ثابتان فإذا فرضنا أن بعد  $\overline{و}$  يكون  
على النصف يلزم أن قوة  $\overline{ص}$  تكون مضعفة مثني ليكون الحاصل

ثابتا والتوازن واقعا ولا مانع أيضا من أن نفرض أن بعد  $\overline{و}$  يكون  
على الثالث فيلزم أن قوة  $\overline{ص}$  تكون متضاعفة ثلاث ولا مانع كذلك

من أن نفرض أن بعد  $\overline{و}$  يكون على الربع فيلزم أن قوة  $\overline{ص}$  تكون  
متضاعفة رباع وهكذا فيأخذ حيث نذ في الازدياد تأثير قوة  $\overline{ص}$

في مقاومة  $\overline{ز}$  المساوية لمقاومة  $\overline{ز}$  والمضادة لها لاجل توازن القوة  
المذكورة مع قوة أخرى كقوة  $\overline{س}$  موازية لها وازدياد هذا التأثير

يكون أولا بالنسبة لقوة  $\overline{ص}$  المذكورة وثانيا بالنسبة لبعده  
 $\overline{و}$  وهو بعد اتجاه هذه القوة عن النقطة التي تكون بها المقاومة والحاصل

الذي يستعمل قياسا لتأثير القوة في المقاومة الموجودة بنقطة  $\overline{و}$   
هو ما يسمى بمقدار القوة بالنسبة للنقطة  $\overline{و}$  المذكورة

فإذا كان يكون  $\overline{س} \times \overline{م}$  هو مقدار قوة  $\overline{س}$  وكذلك يكون  
 $\overline{ص} \times \overline{و}$  مقدار قوة  $\overline{ص}$  ولذا شرط التوازن المبين

$$\overline{س} \times \overline{م} = \overline{و} \times \overline{ص} \text{ فنقول}$$

يشترط في جعل قوتين متوازيتين كقوتي  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  متوازيتين  
حول نقطة  $\overline{و}$  الثابتة أن يكون مقدار القوتين المأخوذ بالنسبة للنقطة

المذكورة واحدا في كل منهما

ويشترط أيضا أن تكون قوتا  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  يديران المستقيم إلى جهتين  
متقابلتين

هذا ولا مانع من وضع المقاومة في نقطة  $\overline{أ}$  (شكل ٢٤) واعتبار توازن

قوتى  $\overline{ص}$  و  $\overline{ز}$  المؤثرتين في جهتين متضادتين فاذا مددنا مستقيم

ا ح ع عمودا على اتجاه هاتين القوتين المتوازيتين حدث هذا التناسب

$$\overline{ص} : \overline{ز} :: \overline{او} : \overline{اب} :: \overline{ا ح} : \overline{ا ع}$$

فاذن يكون  $\overline{ص} \times \overline{ا ح} = \overline{ز} \times \overline{ا ع}$

فيكون حينئذ حاصل المقدارين في هذه الصورة كالتى قبلها واحدا في قوتى

$\overline{ص}$  و  $\overline{ز}$  المتوازيتين مع قوتى  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  كما انه واحد ايضا

في قوة  $\overline{ص}$  وقوة  $\overline{ز}$  التى هى عملة  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$

ولمذا لان مستقيما حينما اتفق كستقيم  $\overline{ا م د}$  (شكل ٢٥) من نقطة  $\overline{ا}$

ونجعل مستقيما  $\overline{و م}$  و  $\overline{ب د}$  عمودين على هذا المستقيم فيحدث

من خواص الخطوط المناسبة (كما سبق في الدرس الخامس من الهندسة)

هذا التناسب

$$\overline{ص} : \overline{ز} :: \overline{او} : \overline{اب} :: \overline{و م} : \overline{ب د}$$

وينتج من ذلك ان  $\overline{ص} \times \overline{ب د} = \overline{ز} \times \overline{و م}$

فيكون حاصل ضرب قوة  $\overline{ص}$  في بعد نقطة وقوعها وهى  $\overline{ب}$  على

مستقيم  $\overline{ا م د}$  وحاصل ضرب قوة  $\overline{ز}$  في بعد نقطة وقوعها وهى  $\overline{و}$

على هذا المستقيم هما مقدارا  $\overline{ص}$  و  $\overline{ز}$  المأخوذان بالنسبة للمستقيم

المذكور ويعرف هذا المستقيم حينئذ بمحور المقادير

وعليه ففى كان محور المقادير مارا بنقطة وقوع قوة  $\overline{س}$  المتوازنة مع قوتى

$\overline{ص}$  و  $\overline{ز}$  المتوازيتين كان مقدار  $\overline{ص}$  مساويا لمقدار  $\overline{ز}$  وكان

هذان المقداران مؤثرين في جهتين متضادتين

فاذا مددنا مستقيما  $\overline{ل م ن}$  موازيا للمستقيم  $\overline{ا م د}$  ثم جعلنا  $\overline{ا ل}$

و  $\overline{م د}$  و  $\overline{ب ن}$  اعمدة على هذين المستقيمين المتوازيين حدث

$$\overline{ا ل} = \overline{ب ن} = \overline{م د}$$

$$\text{لكن } \overline{س} + \overline{ص} = \overline{ز}$$

فأذن يكون  $\overline{س} \times \overline{ال} + \overline{ص} \times \overline{ن} = \overline{ز} \times \overline{م}$   
وتقدم أن  $\overline{ص} \times \overline{ب} = \overline{ز} \times \overline{و}$

فعلیه يكون  $\overline{س} \times \overline{ال} + \overline{ص} \times \overline{بن} = \overline{ز} \times \overline{وم}$   
فإذا جعلنا حيث  $\overline{ل}$  مستقيما كستقيم  $\overline{ل م ن}$  محورا للمقادير كان مجموع  
مقادير قوة  $\overline{س}$  وقوة  $\overline{ص}$  المتوازيين مكافئا لمقدار قوة  $\overline{ز}$   
الموازنة لهما فيكون مكافئا أيضا لمقدار قوة  $\overline{ز}$  التي هي محصلة قوتي  
 $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  حيثان  $\overline{ز} = \overline{ز}$

ولنفرض الآن أن هناك ثلاث قوى مركبة مثل  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  و  $\overline{ع}$   
(شكل ٢٦) فنسقلها إلى أي محور من مقادير  $\overline{م}$  يحدث

أولا  $\overline{س} \times \overline{أسم} + \overline{ص} \times \overline{بسم} = \overline{ز} \times \overline{دز}$

وثانيا  $\overline{ز} \times \overline{دز} + \overline{ع} \times \overline{ثع} = \overline{ز} \times \overline{هز}$

فأذن يكون  $\overline{س} \times \overline{أسم} + \overline{ص} \times \overline{بسم} + \overline{ع} \times \overline{ثع} = \overline{ز} \times \overline{هز}$   
وبناء عليه يكون مجموع مقادير القوى الثلاثة مساويا لمقدار محصلتها

ويبرهن في المستوى أيضا على أن مجموع مقادير أربع قوى أو خمس أو ست  
أو غير ذلك من القوى المركبة يكون مساويا لمقدار محصلتها مهما كان وضع  
محور المقادير واتجاهه

وبناء على ذلك إذا مددنا من كل نقطة من قعر وقعر القوى عمودا على محور  
المقادير كان حاصل ضرب المحصلة في البعد الموافق لنقطة وقعرها مساويا  
لمجموع الحواصل الموافقة لنقط وقعر سائر القوى المركبة

ويحدث من هذه الخاصية العظيمة تطبيقات مهمة على حسابات فخر الأقسام  
والآلات فلا بد للتلاميذ من حفظها وتعليلها على وجه الصحة والضبط  
وفائدة الخاصية المذكورة هي أنها تسهّل بدون واسطة وضع نقطة وقعر محصلة  
ما يراد من القوى المتوازية من غير أن يكون هناك ما يجبرنا على أخذها مني  
ونلات الخ

ولذلك نمد مستقيمين عمودين على بعضهما كستقيبي  $\overline{وس}$  و  $\overline{وص}$

(شكل ٢٧) ثم تنزل من نقط وقوع قوى  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  و  $\overline{ر}$  و  $\overline{ض}$  الخ وهي  $\overline{أ}$  و  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  و  $\overline{د}$  الخ بأعمدة  $\overline{أأ}$  و  $\overline{بب}$  و  $\overline{ثث}$  الخ و  $\overline{أأ}$  و  $\overline{بب}$  و  $\overline{ثث}$  الخ على  $\overline{وس}$  و  $\overline{وص}$  فإذا كانت  $\overline{غ}$  نقطة وقوع محصلة  $\overline{ز}$  فإنه يحدث

$$\overline{غ} \times \overline{ز} = \overline{ح} \times \overline{أأ} + \overline{بب} \times \overline{خ} + \overline{ثث} \times \overline{ر} + \dots$$

$$\text{و } \overline{غ} \times \overline{ز} = \overline{ح} \times \overline{أأ} + \overline{بب} \times \overline{خ} + \overline{ثث} \times \overline{ر} + \dots$$

ويستخرج من ذلك

$$(أ) \quad \overline{غ} = \frac{\overline{ح} \times \overline{أأ} + \overline{بب} \times \overline{خ} + \overline{ثث} \times \overline{ر} + \dots}{\overline{ز}}$$

$$\text{و } (ب) \quad \overline{غ} = \frac{\overline{ح} \times \overline{أأ} + \overline{بب} \times \overline{خ} + \overline{ثث} \times \overline{ر} + \dots}{\overline{ز}}$$

ولانقل ان محصلة  $\overline{ز}$  تساوي مجموع سائر القوى المركبة

فإذا تساوت قوى  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  و  $\overline{ر}$  و  $\overline{ض}$  الخ وكان عددها  $\overline{د}$  (أي غير متناهية) فإن محصلتها  $\overline{د} \times \overline{ح}$  فاذن يحدث من مساواة المقادير

$$\overline{غ} \times \overline{ز} = \overline{ح} \times \overline{أأ} + \overline{بب} \times \overline{خ} + \overline{ثث} \times \overline{ر} + \dots$$

$$\overline{غ} \times \overline{د} \times \overline{ح} = \overline{ح} \times \overline{أأ} + \overline{بب} \times \overline{خ} + \overline{ثث} \times \overline{ر} + \dots$$

ويؤخذ من ذلك ان  $\overline{د} \times \overline{غ} = \overline{أأ} + \overline{بب} + \overline{ثث} + \dots$

$$\text{فاذن يكون } \overline{غ} = \frac{\overline{أأ} + \overline{بب} + \overline{ثث} + \dots}{\overline{د}}$$

وعليه فحي كانت القوى المركبة مساوية لبعضها واخذ لكل منها بعد نقطة وقوعها عن محور المقادير وقسم مجموع هذه الأبعاد على عدد القوى فإنه يحصل بعد المحور عن نقطة وقوع المحصلة وهذا الحاصل مستعمل كثيرا في القنون وإذا لم يكن هنالك الاثلاث قوى مساوية لقوة  $\overline{ح}$  وواقعة على نقط  $\overline{أ}$  و  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  الثلاثة التي هي رؤس مثلث  $\overline{أبث}$  (شكل ٢٨)

وجعلت قاعدة المثلث المذكور وهي أ ب محورا المقادير فان بعد  
هذا المحور عن تقطعي وقوع القوتين الواقعتين على رأسى أ و ب يكون  
حيثنذا معدوما فيكون حاصل ضرب هاتين القوتين في قوة ح معدوما  
ايضا فاذن لا يبقى معنا الا هذا التساوى يجعل ر فيه رمزا للمحصلة  
وهو  $ر \times غ = ح \times ث$  لكن  $ر = ٣ ح$   
فيكون حيثنذا  $غ = \frac{١}{٣} ث$  على وجه التعديل

وعليه فيكون مركز ثقل القوى الثلاثة المتساوية الواقعة على رؤس المثلث  
موجودا في ثلث بعد كل رأس عن اقل قاعدة التي تقابلها فاذن يكون هذا المركز  
عين مركز ثقل سعة هذا المثلث (وبمثل ذلك يبرهن مع السهولة على أن مركز ثقل  
اربعة قوى متساوية واقعة على الرؤس الاربعة من شكل هرمي مثلثي هو عين  
مركز ثقل حجم الشكل المذكور) وهذه قاعدة شهيرة جدا مستعملة غالبا  
في حسابات الميكانيكا

وبمجرد تفصيل بعدى نقطة ع وهما غ غ و غ غ (شكل ٢٧)  
عن مستقيمي وس و وص نعرف وضع نقطة غ المذكورة  
التي هي مركز وقوع القوى

ونقطة غ المذكورة هي بمقتضى تعريف مراكز الثقل مركز ثقل قوى  
ح و خ و ز و ض الواقعة على نقاط أ و ب و ث و د الخ  
(فاذا لم تكن القوى المتوازية كلها في مستوا واحد لزم استبدال محاور المقادير  
بمستويات المقادير الاعمدة على بعضها فعلى ذلك نستبدل الاعمدة على محاور  
أ ب الخ بالاعمدة على المستويات وفي كلتا صورتين يكون  
مجموع مقادير القوى المركبة مساويا لمقدار المحصلة ويسهل اثبات ذلك  
بخواص الخطوط المتناسبة كما تقدم في الدرس الخامس من الهندسة)

ثم ان القاعدة المذكورة آتفا هي وطريق اجرائها يستعملان بدون واسطة  
في تحصيل وضع مركز ثقل ما يرد من القوى المتفرقة على الخطوط والسطوح  
او الججوم سواء كان تفرقها مستترا او لا

وإذا كان المطلوب تحصيل مركز ثقل الخط الثقيل وهو  $\overline{AB}$  (شكل ٢٩) فإنه يقسم الى اجزاء صغيرة جدًا متحدة الثقل ويضرب كل جزء منها في بعده عن مستقيم أول كستقيم  $\overline{OS}$  ثم عن مستقيم ثان كستقيم  $\overline{OS}$  ثم يقسم بالتوالي مجموع المستقيمات الاولى والثانية على مجموع القوى فيحدث أولا  $\overline{SG}$  وثانيا  $\overline{SG}$  ولا يلزم ايضاح الطرق الآتية التي تستعمل لاجل تحصيل مركز ثقل السطوح والججوم الا بالنسبة للمينات فنقول

ان جلا فظة السفن يحتاجون الى قياس سطوح الشراعات وتعيينهم أولا وضع مركز ثقل كل شراع وثانيا مركز ثقل مجموع هذه الشراعات لانه كلما كان هذا المركز الاخير المعروف بمركز الشراعات مرتفعا عن مركز الثقل كان لقوة الهواء شدة بها تميل السفينة وتنقلب حيث لا مانع وعما لا نزاع فيه ان جميع الشراعات الدائرة حول نقط تعليقها تكون كلها نازلة في مستوى تماثل السفينة وتقسم الى مثلثات يكون كل من مسطحها مركز ثقلها معيناً

فاذا فرض (شكل ٢٧) ان قوى  $\overline{H}$  و  $\overline{X}$  و  $\overline{R}$  الخ المتوازية الدالة على سطح هذه المثلثات واقعة على نقط  $\overline{A}$  و  $\overline{B}$  و  $\overline{C}$  الخ التي هي مراكز ثقل المثلثات المذكورة فإنه يحدث بدون واسطة من معادلتى

(١) و (٢) المتقدمتين بعدا نقطة  $\overline{G}$  التي هي مركز ثقل الشراعات وهما  $\overline{SG}$  و  $\overline{SG}$  عن محوري  $\overline{OS}$  و  $\overline{OS}$  و  $\overline{OS}$  اللذين احدهما افقى والاخر رأسي وفي ذلك كفاية في معرفة وضع مركز الشراعات في مستوى تماثل السفينة

وانتكن سعة  $\overline{AM}$  المستوية (شكل ٣٠) محدودة بمنحنى  $\overline{AM}$  وبثلاث مستقيمات عمودية على بعضها وهي  $\overline{AA}$  و  $\overline{AM}$  و  $\overline{MM}$  والمطلوب معرفة مقدار قوة هذه السعة بالنسبة لمستقيم  $\overline{AM}$  فلذلك تقسم مستقيم  $\overline{AM}$  المذكور الى اجزاء كثيرة عرض كل جزء منها يساوي  $\overline{L}$  ونمذ من نقط المستقيم مستقيمات  $\overline{B}$  و  $\overline{C}$  و  $\overline{D}$  الخ الموازية لمستقيم  $\overline{AA}$  و  $\overline{MM}$



فاذا اعتبرنا اجزاء منحنى  $\overline{ا ب ش د}$  الخ وهى  $\overline{ا ب}$  و  $\overline{ب ش}$  و  $\overline{ش د}$  الخ الصغيرة جدا كنطوط مستقيمة حدث عن ذلك ان سطح  $\overline{ا م م} = \overline{ل} \times \overline{ا ا} + \overline{ب ب} + \overline{ش ش} + \overline{د د} + \dots + \frac{1}{4}$   $\overline{م م}$  الخ

واذا فرض اتنا استبدلنا من مبدء الامر شكل  $\overline{م ا ا ب ش د}$  الخ المتصل بشكل  $\overline{م ا ا ب ش د د}$  الخ المدرج فان مراکز ثقل هذين الشكلين وهى  $\overline{غ}$  و  $\overline{ن ح}$  و  $\overline{ن ح}$  الخ تكون متباعدة عن  $\overline{ا م}$  بكميات تساوى  $\frac{1}{4}$   $\overline{ا ا}$  و  $\frac{1}{4}$   $\overline{ب ب}$  و  $\frac{1}{4}$   $\overline{ش ش}$  كل لنظيره فاذن تكون مقادير المستطيلات التى يتركب منها الشكل المدرج بالنسبة لهور  $\overline{ا م}$  هكذا

$$\begin{aligned} \overline{ا ا} \times \overline{ل} &= \overline{ا ا} \times \frac{1}{4} \\ \overline{ب ب} \times \overline{ل} &= \overline{ب ب} \times \frac{1}{4} \\ \overline{ش ش} \times \overline{ل} &= \overline{ش ش} \times \frac{1}{4} \end{aligned}$$

فيكون المقدار الكلى  $\overline{ل} (\overline{ا ا} + \overline{ب ب} + \overline{ش ش} + \dots + \overline{م م})$  ومن ذلك يعلم ان المقدار الكلى يكون مساويا لمجموع مربعات مستقيمت  $\overline{ا ا}$  و  $\overline{ب ب}$  و  $\overline{ش ش}$  مضروبا فى نصف عرض القواعد المتساوية

فاذا اخذنا شكلى  $\overline{م ا ا ب ش ش د}$  مدرج كان المقدار الكلى

$$\overline{ل} (\overline{ب ب} + \overline{ش ش} + \overline{د د} + \dots + \overline{م م})$$

وهالك مقدارين يوجد بينهما مقدار سطح  $\overline{م ا م}$  المتصل احدهما مقدار صغير جدا وهو

$$\overline{ل} (\overline{ا ا} + \overline{ب ب} + \overline{ش ش} + \dots + \overline{م م})$$

ثانيهما مقدار كبير جدا وهو

$\frac{1}{4} \text{ ل } ( \text{بـ} + \text{ثـ} + \dots + \text{مـ} + \text{مـ} )$   
 فإذا اخذنا المقدار المتوسط بينهما حدث

$\frac{1}{4} \text{ ل } ( \frac{1}{4} \text{اـ} + \text{بـ} + \text{ثـ} + \dots + \text{مـ} + \frac{1}{4} \text{مـ} )$   
 فإذا كان يكون مقدار السعة أو المسطح وهو  $\text{مـا}$  مساويا لنصف عرض  $\text{لـ}$   
 من جميع الطبقات مضروبا في مجموع مربعات أطوال  $\text{بـ}$  و  $\text{ثـ}$  الخ  
 المتوسطة وفي نصف مربع طول  $\text{اـ}$  و  $\text{مـ}$  المتطرفين

فيكون المقدار التحصل قريبا من الحقيقة بقدر ما تكون الطبقات المتقدمة  
 كثيرة ومتقاربة من بعضها جدا فإذا قسمنا هذا المقدار على سعة  $\text{مـا}$  أم  
 حدث  $\text{عـ غ}$  الذي هو بعد محور  $\text{ام}$  عن مركز ثقل هذه السعة  
 وهو  $\text{عـ غ}$

وعليه فيكون  $\text{عـ غ} = \frac{1}{4} \text{اـ} + \text{بـ} + \text{ثـ} + \dots + \frac{1}{4} \text{مـ}$   
 $\frac{1}{4} \text{اـ} + \frac{1}{4} \text{بـ} + \frac{1}{4} \text{ثـ} + \dots + \frac{1}{4} \text{مـ}$

ثم إن حساب مقدار هذا الكسر هو أسهل شيء لأنه ينبغي فيه التأنى  
 وكذلك يسهل تحصيل هذا المقدار بالهندسة بواسطة المثلثات القائمة الزوايا  
 التي خاصيتها أن مربع الوتر يكون مساويا لمجموع مربعي الضلعين الآخرين  
 وقد استبان من ذلك أن خواص الهندسة عامة النفع في حل مسائل  
 الميكانيكا

وقد تكون الطريقة التي ذكرناها أفعالة فنستعمل في سطوح أي شكل  
 وليكن المطلوب تحصيل بعد محور  $\text{سـ ص}$  عن نقطة  $\text{غ}$  التي هي  
 مركز ثقل سعة  $\text{ابـ ثـ} \dots \text{مـ شـا}$  (شكل ٣١) فنمتد  
 متوازيات  $\text{اـ}$  و  $\text{بـ}$  و  $\text{ثـ}$  و  $\text{دـ}$  الخ التي على بعد  
 واحد من بعضها وليكن  $\text{غ}$  و  $\text{غ}$  مركزى ثقل شكل

$$\begin{aligned} \overline{م ا ب ش د م} \text{ و } \overline{م ا ر ش د} \dots \overline{م} \text{ فيحدث عنهما} \\ \overline{م} = \overline{م} + \overline{ا} + \overline{ب} + \overline{ش} + \overline{د} + \overline{م} \\ \overline{م} = \overline{م} + \overline{ا} + \overline{ب} + \overline{ش} + \overline{د} + \overline{م} \\ \overline{م} = \overline{م} + \overline{ا} + \overline{ب} + \overline{ش} + \overline{د} + \overline{م} \end{aligned}$$

فيكون اقلام مقدار

$$\overline{م ا ب ش د م} \dots = \overline{م} + \overline{ا} + \overline{ب} + \overline{ش} + \overline{د} + \overline{م}$$

وثانيا مقدار

$$\overline{ا ر ش م} \dots = \overline{ا} + \overline{ر} + \overline{ش} + \overline{م}$$

فيكون خارج قسمة فاضل هذين المقدارين على فاضل السطوح اى السطح  
المفروض وهو  $\overline{م ا ب ش د م} \dots$  هو بعد مرز نقل هذا السطح وهو  
غ غ عن محور المقادير وهو  $\overline{س ص}$

ويسهل بواسطة (شكل ٣٠) ايجاد غ غ الذى هو بعد مرز نقل  
غ غ بالنسبة الى محور  $\overline{ا ا}$  العمودى على  $\overline{ا م}$   
فاذا حسبنا مقدار الطبقات المتوازية المدرجة الصغيرة جدًا وكان ذلك  
بالنسبة الى  $\overline{ا ا}$  حدثت هذه المقادير

$$\begin{aligned} \overline{ا ا} \text{ مقدار} &= \overline{ا} \times \overline{ا} \times \overline{ا} \\ \overline{ب ب} \text{ مقدار} &= \overline{ب} \times \overline{ب} \times \overline{ب} \\ \overline{ش ش} \text{ مقدار} &= \overline{ش} \times \overline{ش} \times \overline{ش} \end{aligned}$$

فيكون المقدار الكلى  $\overline{ا ا} + \overline{ب ب} + \overline{ش ش} + \dots$  (١)  
فاذا جعلنا الطبقات المدرجة اصكبر من سعة  $\overline{م ا ب ش د م}$  الح

المتصل حدث

$$\overline{\text{مقدار}} \quad \overline{\text{أ}} \times \overline{\text{ب}} = \overline{\text{أ} \times \text{ب}} \quad \frac{1}{4}$$

$$\text{ومقدار} \quad \overline{\text{أ} \times \text{ب}} = \overline{\text{أ} \times \text{ب}} \quad \frac{3}{4}$$

$$\text{ومقدار} \quad \overline{\text{أ} \times \text{ب}} = \overline{\text{أ} \times \text{ب}} \quad \frac{5}{4}$$

فانذ يكون المقدار الكلي مساويا

$$\frac{1}{4} \overline{\text{أ} \times \text{ب}} = \overline{\text{أ} \times \text{ب}} \quad (-) \quad (0000 + \overline{\text{أ} \times \text{ب}} + \overline{\text{أ} \times \text{ب}} + \overline{\text{أ} \times \text{ب}} + \overline{\text{أ} \times \text{ب}})$$

وبأخذ نصف مجموع مقدرى (أ) و (-) يحدث

$$\frac{1}{4} \overline{\text{أ} \times \text{ب}} = \overline{\text{أ} \times \text{ب}} \quad (-) \quad (0000 + \overline{\text{أ} \times \text{ب}} + \overline{\text{أ} \times \text{ب}} + \overline{\text{أ} \times \text{ب}} + \overline{\text{أ} \times \text{ب}})$$

ونستمر كذلك الى م م الذى لا يضرب في ضعف عدد الطبقات الموافقة له

بل يضرب في عددها البسيط فقط فيكون مقدار (ج) مقسوما على سطح

أ ب ث د الخ يساوى غ غ

ثم ان صناع السفن يحتاجون الى تعيين مسطح ومركز ثقل ومقدار القطاعات

الاقية المتنوعة المصنوعة في القارين (أى الجزء الاسفل من السفينة)

والمنتهية بمحيطات يسمنها خطوط الماء وخطوط التوج واسهل الطرق في ذلك

الطريقة التى ذكرناها فيلزم أن تكون هذه الطريقة المستعملة عند المهندسين

البحريين مستعملة ايضا عند صناع سفن التجارة ومن هذا القبيل ايضا

الطريقة التى ذكرناها لتعيين وضع مركز ثقل الاجسام الصلبه ومقدارها

فلنقل وضع مركز ثقل الجسم الصلب الى مستوي المسقط المتقاطعين وهما

المستعملان في الهندسة الوصفية (كما تقدم في الدرس الثالث عشر من

الهندسة)

وانقطع الجسم الى طبقات رأسية متحدة السبك مرموز اليها بحروف

أ و ب و ج الخ والى طبقات اقية مبيدة باعداد ١ و ٢ و ٣

الخ ومتحدة السبك ايضا ويكون ترتيب الارقام دالا على ترتيب الطبقات

فاذا فرضنا (شكل ٣١) ان سعة أ ب ث د الخ قاعدة اسطوانة

قائمة فان مركز ثقل هذه الاسطوانة يكون ساقطا سقوطا اقويا على مركز ثقل السعة المذكورة ويحدث من المعادلات المتقدمة بعد مركز ثقل الاسطوانة المذكورة بالنسبة لمحورين عمودين على بعضهما

ولتوهم انقسام اى حجم كسفينية مثلا الى عدة طبقات افقية على بعد واحد من بعضها ومرسومة على الصورة التى فى شكل ٣٢ وتوهم ايضا ان سطح السفينة عوضا عن أن يكون متصلا يكون مدرجا بحيث يكون كدرج السلام المعوجة على حسب صورة الجسم الصلب وكلما تكاثرت الدرج المسمى فى اصطلاحهم بالمدرجات كان الجسم المدرج قريبا من الجسم الذى يكون سطحه متصلا وبالجملة اذا فرضنا ان  $\bar{ش}$  هو الارتفاع الرأسى لساير الطبقات او المدرجات حدث

(أولا) ان حجم كل درجة من السلام يكون مساويا  $\bar{ش}$  مضروبا فى سطح الطبقة المستعملة قاعدة للمدرج

(وثانيا) ان مركز ثقل الدرجة يكون ساقطا سقوطا اقويا على مركز ثقل الطبقة المستعمل قاعدة لهذا المدرج

(وثالثا) ان ارتفاع  $\bar{ش}$  مضروبا فى مقدار الطبقة يكون مساويا لمقدار المدرج الذى تكون سعة هذه الطبقة قاعدة له

(ورابعا) ان مجموع حجومات المدرجات يكون دالا على حجم  $\bar{ق}$  الكلى للجسم القروض

(وخامسا) ان مجموع مقادير المدرجات يكون دالا على المقدار الكلى للجسم المذكور

وحينئذ اذا كانت المقادير مأخوذة بالنسبة لمحور  $\bar{وس}$  وكان مجموعها  $\bar{م}$

حدث  $\bar{غ} \bar{غ} = \frac{\bar{م}}{\bar{ق}}$  فاذا كانت مأخوذة بالنسبة لمحور  $\bar{وس}$  وكان

$$\text{مجموعها م فانه يحدث و غ} = \frac{\text{ق}}{\text{ق}}$$

ولا يخفى ما في هذه الطريقة من الإيجاز والسهولة فلهذا كانت مستعملة عند علماء النظريات وغيرهم ونافعة لجميع المهندسين والصناعية الذين يريدون حساب وضع مركز ثقل أى حجم على وجه العصا والضبط هذا ولا ينال من تكرير القول بأن معرفة هذه الطريقة مما لا بد منه خصوصا لصناع السفن ولا مانع ان البصارة اذا عرفوها حق المعرفة وأجروا مامثلها من الطرق يستفيدون منها فوائد جليلة تتعلق بسفنهم

وقد اقتصرنا هنا على ذكر الوضع الشهير لمركز ثقل عدة سطوح وعدة اجسام صلبة مهمة في الصناعة وابقينا للتلامذة الذين يريدون التبحر في المعارف الاطلاع على الكتب الجليلة المؤلفة في هذا المعنى وإثبات ما ذكره من الخواصل فتقول

ان مركز ثقل المنشور او الاسطوانة يكون على بعد واحد من القاعدتين العليا والسفلى ويقطع المنشور او الاسطوانة الى جزئين متساويين بمستوى مواز لهاتين القاعدتين يكون مركز ثقل القطاع عين مركز ثقل المنشور او الاسطوانة

فاذا اخذنا مركز ثقل كل قاعدة من المنشور او الاسطوانة ووصلنا بين المركزين بمستقيم واحد فان منتصف هذا المستقيم يكون مركز ثقل اما المنشور او الاسطوانة

(فاذا كان المنشور قائما كان المستوى الذى يقسمه الى قسمين متساويين بالتوازي للقاعدتين على بعد واحد من هاتين القاعدتين مستوى قائل فاذا كان يكون ممثوبا على مركز ثقل المنشور

ولنفرض انقسام المنشور المذكور الى كثير من الطبقات الموازية للقاعدتين فتكون مراكز ثقل هذه الطبقات تقريبا عين مركز ثقل سطوحها وموجودة

على مستقيم واحد مواز لاضلاع المنشور ويكون حيثنذ مركز ثقل هذا المنشور موجودا على منتصف المستقيم المذكور فاذا فرضنا ان القطوع المذكورة تتزحلق على بعضها بالتوازي بحيث تكون مراكز ثقلها موجودة دائما على مستقيم واحد فانه يحدث عن ذلك حجم مدرج مركز ثقله موجود دائما على المستقيم الواصل بين هذه المراكز

وكما فرضت الطبقات رقيقة وعديدة كان الحجم المدرج قريبا من المنشور المائل بدون أن يكون ذلك مانعا من أن يكون وضع مركز ثقل هذا الحجم على بعد واحد من المستويات المحددة للطبقات المتطرفة

فاذن يكون مركز الثقل في المنشور المائل او القائم موجودا في منتصف المستقيم المار بمركز ثقل القاعدتين

ويظهر من تحليل الاسطوانة القائمة الى اسطوانات مدرجة تكون كل درجة منها اصغر من التي يسابها ان مركز ثقل الاسطوانة المائلة او القائمة يكون موجودا في منتصف المستقيم الواصل بين مركزي ثقل القاعدتين

ويحدث من قسمة مجموع اضلاع المنشور الناقص على عدد الاضلاع بعد القاعدة عن مركز ثقل ذلك المنشور وذلك يكون بقياس هذا البعد بمستقيم مواز للاضلاع

فاذا اخذنا مركز ثقل قاعدة هرم او مخروط ووصلنا بينهما وبين الرأس بمستقيم ثم اخذنا ربع هذا المستقيم بالابتداء من القاعدة واخذنا ثلاثة ارباعه بالابتداء من الرأس فان النقطة التي تجدها تكون مركز ثقل اما للهرم او المخروط المذكورين

(واذا قسمنا الهرم المثلي الى طبقات رقيقة جدا بواسطة مستويات موازية للقاعدة وجدنا ان مراكز ثقل هذه الطبقات تكون موجودة في مراكز ثقل القطاعات الموازية للقاعدة ولكن حيث ان هذه القطاعات متشابهة ونقطتها المتقابلة موجودة على مستقيم واحد مع رأس الهرم فان مراكز الطبقات المذكورة وكذلك مركز الهرم تكون موجودة على المستقيم الواصل بين مركز

ثقل القاعدة والرأس وذلك يوافق الرأس الأربعة والأوجه المقابلة لها  
 وليكن  $\overline{ع}$  (شكل ٢٣) مركز ثقل قاعدة  $\overline{ا ب ث}$  لهرم  
 $\overline{ض ا ب ث}$  فيكون  $\overline{ك غ} = \frac{1}{3} \overline{ك ب}$  وليكن أيضا  $\overline{ع}$   
 مركز ثقل  $\overline{ض ا ث}$  فيكون  $\overline{ك غ} = \frac{1}{3} \overline{ك ض}$  فاذن  
 اذا مددنا  $\overline{ع غ}$  و  $\overline{غ}$  فان خطي  $\overline{ك ض}$  و  $\overline{ك ب}$   
 يكونان مقطوعين قطعا مناسبا وعليه فيكون  $\overline{غ}$  ثلث  $\overline{ب ص}$   
 وكذلك  $\overline{ك غ}$  يكون ثلث  $\overline{ك ب}$  و  $\overline{ك غ}$  ثلث  $\overline{ك ض}$   
 فبسبب تشابه مثلثي  $\overline{ع غ غ}$  و  $\overline{غ ب ض}$  يكون  $\overline{ع غ} = \frac{1}{3} \overline{ع ب}$   
 $\overline{غ ض}$  وبناء عليه يكون  $\overline{ع غ} = \frac{1}{3} \overline{ض غ}$  فاذن يكون مركز  
 ثقل الهرم موجودا في ربع بعد الرأس عند مركز ثقل القاعدة  
 ومركز ثقل سطح الكرة وحجمها موجود في مركز ثقلها  
 ومركز ثقل الطيلسان الكروي موضوع على محور التماثل اعلى سهم الطيلسان  
 ويكون في منتصف هذا السهم  
 ومركز ثقل وحجم سطوح الدوران موضوع على محوري تماثلها  
 فاذا مددنا مستويا قاطعا من محور مخروط قائم مستدير تمام اوناقص فان مركز  
 ثقل المثلث او شبه منحرف القطاع يكون مركز ثقل سطح المخروط التام  
 او المخروط الناقص  
 ومركز ثقل حجم نصف الكرة يكون في ثلاثة اثمان نصف القطر بالابتداء  
 من المركز  
 ومركز ثقل قطعة القطع المكافئ يكون في ثلاثة اثمان السهم بالابتداء  
 من الرأس  
 ومركز ثقل قطعة الحجم المكافئ المتولد من دوران القطع المكافئ على محوره



يكون في ثلثي المحور بالابتداء من الرأس

(بيان استعمال مراكز الثقل لاجل تحصيل حجم بعض الاجسام) \*

ينبغي أن نفهم ونوضح هنا ما بين تعيين بعض الحجم وتعيين مركز ثقل بعض السطوح من المشابهة العظيمة فنقول

لنفرض ان مركز ثقل  $\overline{غ}$  (شكل ٣٣) لسطح دائر حول محور  $\overline{وو}$  يكون معيناً في رسم محيط  $\overline{وم}$  في حال التحرك سطح دوران ويكون الحجم المصور في سطح الدوران المذكور مساوياً لسطح  $\overline{وم}$  ومضروباً في الدائرة التي قطعها مركز  $\overline{غ}$

ولا ثبات ذلك فخذ من محور  $\overline{وو}$  مستويين كستوي  $\overline{وح}$  و  $\overline{وخ}$  متقاربين من بعضهما قرباً كفاً يتما زاوية صغيرة جداً فيمكن أن يعتبر ان الجسم منته بشقة اسطوانية بين المستويين المذكورين فيكون للاسطوانة الناقصة قاعدة كقاعدة  $\overline{وم}$  و  $\overline{وح}$  على مستوى  $\overline{وح}$  فاذا قسمنا هذه القاعدة الى مربعات صغيرة متساوية كان كل واحد منها قاعدة لمنشور صغير قائم منته بمستوى  $\overline{وخ}$

ولكن  $\overline{وس}$  هذه المربعات الصغيرة فاذا مددنا من نقطة  $\overline{س}$  التي هي مركز المربع المذكور خط  $\overline{سز}$  موازياً لمحور  $\overline{وو}$  فانه يحدث معنا حجم منشور منشور ارشد تكون قاعدته  $\overline{وس}$  و  $\overline{سز}$  و  $\overline{سز}$  ارتفاعه ويكون مساوياً  $\overline{وس}$   $\overline{سز}$   $\times$   $\overline{سز}$  وعليه فهذا الحاصل هو مقدار  $\overline{وس}$  المنقول على مستوى  $\overline{وخ}$  بالنسبة الى مستوى  $\overline{وح}$  فاذا كان يكون مجموع حجوم المنشورات اعني حجم قطع  $\overline{وح}$  مساوياً لمجموع مقادير  $\overline{وم}$  و  $\overline{وح}$  في مستوى  $\overline{وخ}$  بالنسبة لمستوى  $\overline{وح}$

فإذا اسقطنا في  $\overline{غ غ}$  نقطة  $\overline{غ}$  التي هي مركز ثقل  $\overline{وم و}$  حدث

سطح  $\overline{وم و} \times \overline{غ غ} =$  مجموع مقادير  $\overline{وم و}$  الموضوع  
في مستوى  $\overline{وغ}$  بالنسبة إلى مستوى  $\overline{وح}$  فإذا كان الحاصل  
هكذا

سطح  $\overline{وم و} \times \overline{غ غ}$  يساوي حجم جزء من جسم الدوران محصور  
بين  $\overline{وح}$  و  $\overline{وغ}$

وعلى ذلك فيكون  $\overline{غ غ}$  مساويا للمسافة التي يقطعها مركز  $\overline{غ}$   
لينتقل من مستوى  $\overline{وح}$  إلى مستوى  $\overline{وغ}$  متى فرضنا أن المستويين  
متقاربان من بعضهما تقاربا كليا

فإذا حدث من سطح  $\overline{وم و}$  مضروباً في مسافة  $\overline{غ غ}$  التي يقطعها  
مركز ثقله عند دورانه حول محوره وهو  $\overline{وو}$  حاصل مساو لحجم جزء من  
جسم الدوران محصور بين مستويي  $\overline{وح}$  و  $\overline{وغ}$

ويمكن أن نتوهم عدة مستويات بقدر ما يراد تكون متقاربة من بعضها بالكلية  
ومارة بالمحور فيكون حجم جزء جسم الدوران المحصور بين هذه المستويات  
مبيناً بحاصل ضرب سعة  $\overline{وم و}$  في المسافة التي يقطعها مركز ثقل  
هذه السعة

وعلى ذلك متى كان الجسم حادثاً من سعة مستوية دائرة حول محور كان حجم  
هذا الجسم مساوياً لحاصل ضرب السعة في المسافة التي يقطعها في هذا التحرك  
مركز ثقل هذه السعة

والاثبات المتقدم يتي على حالة واحدة متى كانت سعة  $\overline{وم و}$  الدائرة  
حول  $\overline{وو}$  لاجل الانتقال من  $\overline{وح}$  إلى  $\overline{وغ}$  دائرة حول محور ثان  
مرسوم في مستوى السعة لاجل قطع جزء كبير أو صغير من سطح الدوران

الحديد ثم حول محور ثالث مرسوم في مستوى السعة وهكذا  
وفي جميع هذه الاحوال يكون الحجم المنتهى بسطح جديد مساوياً لسطح السعة  
الراسمة مضروباً في المسافة التي يقطعها مركز ثقل هذه السعة

\*(تطبيق)\*

هذه الطريقة السهلة مستعملة عند المعمار جية الماهرين في حساب مجوم  
او كيات الاحجار والحديد والاشخاش التي تحتوى عليها السلالم الخشبية  
والعقودات المستديرة ومستعملة ايضا عند مهندسى القناطر والجسور  
في حساب حفر وردم الخيطان وكذلك عند الطوبجية في حساب حجم الاجراء  
المستديرة من المخارج النارية وهلم جرا ويكثر استعمالها ايضا عند  
صناع السفن في تكعيب الاشخاش

ويجب على التلامذة أن يلتفتوا كل الالتفات الى ما بين خواص الهندسة  
والميكانيكا من الروابط الاكيدة فان الميكانيكا بدون الهندسة ليست الاعمال  
بلا علم وممارسة بلا موقف وربما استعالت بدونها وكذلك الميكانيكا لا بد  
للهندسة منها فانها تكسب الهندسة اشغالا مهمة وذلك لانها تحدث لها  
آلات متنوعة لاجل اجراء سائر العمليات الدقيقة على وجه الصحة والضبط  
والسهولة ولتشر الآلات عن ساعد الجهد والاجتهاد في بيان النسب التي لا بد منها  
لهذين العلمين الطريقتين لاجل تطبيقهما معا على الصناعة فنقول

\*(الدرس الخامس)\*

\*(في بيان ما بقى من قوانين التحرك)\*

قد تقدم الكلام على قوانين التحرك الحاصل من القوى المتجهة على مستقيم  
واحد وتقدم ايضا انه اذا كان قوتان واقعتين على نقطة مادية في اتجاه واحد  
مدة زمن معلوم كانت المسافة الكلية المقطوعة في هذا الزمن باقية على سالة  
واحدة متى كانت النقطة المادية متحركة في مبدء الامر بالقوة الاولى ثم بالقوة  
الثانية

فاذا فرضنا مثلا ان سفينة سارت مع الانتظام والرياح تدفعها من خلفها

وكان عليها ملاح يسير من مؤخرها الى مقدمها مع الانتظام ايضا وفرضنا ان هذا الملاح وصل بعد زمن معلوم الى المتقدم متبعا اتجاه سير السفينة فان المسافة الكلية التي يقطعها تكون عين المسافة التي يقطعها الوساير من المؤخر الى المتقدم في الزمن المذكور حال استقرار السفينة واذا كان الملاح مستقرا والسفينة سائرة فان الريح يتقله معها بالانتظام في الزمن المعلوم بالسرعة الاصلية لها

وليست المسافات المقطوعة وحدها هي التي تبقى على حالها في هاتين الصورتين بل كذلك القوة الكلية المستعملة لتحريك الملاح والسفينة فانها ايضا تبقى على حالها ولا يلزم للسفينة والملاح اكثر من قوة واحدة سواء كان يتحركهما حاصل في زمن واحد وفي ازمة متوالية

والمسافة الكلية المقطوعة بواسطة القوتين المؤثرتين معا هي في الصورتين المذكورتين مجموع المسافات المقطوعة اذا كان كل من القوة التي تسير السفينة الى الامام والقوة التي تسير الملاح كذلك مؤثرا على حدته

ولنفرض الآن ان الملاح عند تقدم السفينة يرجع القهقري من المتقدم الى المؤخر فالحاصل حينئذ يكون كالملاح المستقرا والسفينة تتقدم او بالعكس بمعنى انها مستقرة وهو تأخر فبناء على ذلك تكون المسافة الكلية المقطوعة عند حصول التحركين معا مساوية لفاضل المسافات المقطوعة متى كان الملاح متحركا بقوته الاصلية دون غيرها او كان متحركا بالقوة التي تتقدم بها السفينة

واقول ان خاصية المادة هي كونها تقطع المسافة الكلية في زمن معلوم اذا كانت عدة قوى مؤثرة معا على اتجاه واحد وكان تأثيرها بالتعاقب في الزمن المذكور ليست مقصورة على الاجسام المعدة للتحرك بتأثير القوى المتجهة على مستقيم واحد بل هي عامة مهما كان اتجاه تلك القوى فاذا اردت أن تعرف لذلك مثلا سهلا يستعمل كثيرا في التحركات المركبة فضع نفسك في زورق وسرفيه من جهة الى اخرى حال استقراره فان سار الى

الامام في جهة الطول فانك لا تستمر على هذا التحرك الا انتقالا بالسرعة  
المنتظمة ولو استعملت كمية واحدة من القوة لتحرك لها  
فاذا اطلقت بندقة او طبخية من نقطة من السفينة الى اخرى فان الرصاصة تصل  
الى النقطة المعينة اذا كانت السفينة مستقرة او متحركة بشرط أن لا يتغير  
هذا التحرك لمدة المسافة التي تقطعها الرصاصة من وقت خروجها من البندقة  
او الطبخية الى الهدف العين ولنبحث عن الطريق الذي تسلكه الرصاصة  
المذكورة فنقول

لنفرض ان الرصاصة او غيرها من الاجسام بحجم  $\overline{A}$  (شكل ١) تكون  
مدفوعة بقوتين مرموزا اليهما بسمي  $\overline{AS}$  و  $\overline{AV}$  فان اثر القوة  
الاولى وحدها فانها تسير جسم  $\overline{A}$  في ازمة متساوية مسافات  $\overline{A-}$   
و  $\overline{S-}$  و  $\overline{S-}$  الخ المتساوية على مستقيم  $\overline{AS}$  الذي هو امتداد  
 $\overline{AS}$  وان اثر القوة الثانية وحدها فانها تسير جسم  $\overline{A}$  المذكور في تلك  
الازمنة المتساوية مسافات  $\overline{A-}$  و  $\overline{S-}$  و  $\overline{S-}$  الخ المتساوية على مستقيم  
 $\overline{AV}$  الذي هو امتداد  $\overline{AV}$

فاذا اثرت قوة  $\overline{AS}$  وحدها مدة الزمن الاول فانها تنقل جسم  $\overline{A}$  الى  $\overline{S-}$   
ثم اذا اثرت قوة  $\overline{AV}$  وحدها مدة زمن مساو للزمن المذكور في اتجاهها  
الاصلي فانها تسير جسم  $\overline{A}$  على مستقيم  $\overline{AB}$  المساوي لمستقيم  $\overline{A-}$   
والموازي له

واذا اثرت قوة  $\overline{AS}$  وحدها في الزمنين الاولين فانها تنقل جسم  $\overline{A}$  الى  $\overline{S-}$   
ثم اذا اثرت قوة  $\overline{AV}$  وحدها مدة زمنين مساويين للزمنين المذكورين  
فانها تسير جسم  $\overline{A}$  على مستقيم  $\overline{ST}$  المساوي لمستقيم  $\overline{A-}$   
والموازي له وهكذا

وبالجملة فنقط  $\overline{B}$  و  $\overline{S}$  و  $\overline{D}$  الخ التي يتنقل فيها الجسم حين تكون  
قوتا  $\overline{AS}$  و  $\overline{AV}$  مؤثرتين على التعاقب هي عين النقط التي يصل اليها  
هذا الجسم متى فرض ان هاتين القوتين تؤثران معامدة زمن واحد وايضا

خاصية الخطوط المتناسبة (راجع الدرس الخامس من الهندسة) التي يحدث منها

أ : ب :: ث : ث :: أ : د ...

تستلزم ان نقط أ و ب و ث و د الخ تكون على مستقيم واحد

وان اشكال أ ب و أ ث و أ د الخ تكون متوازية

الاضلاع ويكون لها وتر موضوع على مستقيم أ ب ث د الخ فاذن

مق وقع على الجسم تأثير قوتين فانه يفترق على مستقيم واحد ويتبع وتر

متوازي الاضلاع الذي يكون كل ضلع منه دال على المسافة التي يقطعها الجسم

المذكور اذا كان مدفوعا مدة زمن واحد باحدى القوتين المركبتين

وعليه فحق كان القوتان المركبتان مبيتين مقدارا واتجاها بمستقيمي أ

و أ فان محصلتهما س تكون مبيتة ايضا مقدارا واتجاها بوتر متوازي

الاضلاع وهو أ ب الذي ضلعا أ و أ وهذا هو المسعى

بمتوازي الاضلاع للقوى

(ولامانع من أن نبرهن على خاصية متوازي الاضلاع للقوى برهنة صحيحة

ف نقول

نفرض قوتين حيثما اتفق كقوتي س و ص المبيتين (شكل ٢)

بمستقيمي أم و ان ونتم بهذين المستقيمين متوازي الاضلاع وهو

أم ن ولنوقع على نقطة ن من مستقيم ن وعلى

امتداد قوتين متضادتين كقوتي س و ص مساويتين لقوة ص

فيعدمان بعضهما ولا يغيران محصلة س و ص

ونركب الآن س مع س و ص مع ص

فاذا كانت ص المتجهة على ش ك محصلة قوتي س و س

المتوازيتين حدث

س : س :: ان : ن :: ش ك : ش ن

لكن حيث ان خط  $\overline{ش ك}$  مواز لـ  $\overline{ن ع}$  يحدث من خاصية الخطوط  
المتناسبة (كما في الدرس الخامس من الهندسة)

$\overline{ان} : \overline{ن ع} :: \overline{اش} : \overline{ش ك}$

فاذن يكون  $\overline{ش ك} = \overline{ش ن}$  وبما مستقيم  $\overline{ك ن ر}$  تكون

زاويتا مثلث  $\overline{ك ش ن}$  وهما  $\overline{ش ك ن}$  و  $\overline{ش ن ك}$

متساويتين وكذلك زاوية  $\overline{ك ن ع}$  تكون مساوية لكل منهما

فاذن يقسم مستقيم  $\overline{ك ن ر}$  زاويتي  $\overline{ان ع}$  و  $\overline{ص ن ص}$

الى جزئين متساويين وحيث ان قوتي  $\overline{ص}$  و  $\overline{ص}$  متساويتان

فان محصلتهما هي  $\overline{ر}$  تكون موضوعة على  $\overline{ك ن ر}$  اذ لا مقتضى

لكونها اقرب من احدى قوتي  $\overline{ص}$  و  $\overline{ص}$  المذكورتين اكثر من  
ال اخرى

فعلى ذلك تكون محصلة قوتي  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  عين محصلة قوتي  $\overline{ض}$  و  $\overline{ر}$

لكن تكون محصلة القوتين الاوليين مارة بنقطة  $\overline{ا}$  المشتركة بينهما وتكون

محصلة القوتين الاخيرين مارة بنقطة  $\overline{ك}$  المشتركة بينهما فاذن تكون

محصلة  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  مارة بنقطة  $\overline{ا}$  و  $\overline{ك}$  اعني انهما تكون مارة

بمستقيم  $\overline{ا ك ع}$  الذي هو وتر متوازي الاضلاع وهو  $\overline{ام ع ن}$

الذي ضلعا وهما  $\overline{ام}$  و  $\overline{ان}$  دالان على قوتي  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$

المركبتين

ولاجل تفصيل مقدار محصلة  $\overline{ز}$  المتجهة على  $\overline{ا ع}$  (شكل ٣) نجعل  $\overline{ز}$

مساويا ومضادا لهذه القوة وعليه فتكون قوتي  $\overline{س}$  و  $\overline{ص}$  و  $\overline{ز}$

متوازنة وتكون كل قوة منها مساوية ومضادة لمحصلة القوتين الاخيرين

ولترسم متوازي اضلاع يكون وزه متجهها على  $\overline{AM}$  وضلعاه متجهين على  
 $\overline{AN}$  و  $\overline{AE} = \overline{AF}$  فحق اريد أن  $\overline{AN}$  يكون دالاعلى  
 المركبة الاولى وكان  $\overline{AM}$  اتجاه محصلة  $\overline{S}$  وكانت المركبة الثانية  
 وهى  $\overline{Z}$  متجهه على  $\overline{AE}$  لزم أن يكون  $\overline{AE}$  ضلعان متوازي  
 الاضلاع وهو  $\overline{AN}$   $\overline{M}$  فاذن يكون  $\overline{AE} = \overline{N}$   $\overline{M} = \overline{AE}$   
 فتكون محصلة  $\overline{Z} = \overline{Z}$  مينة المقدار والاتجاه بمستقيم  $\overline{AE}$  وهو  
 وتر متوازي الاضلاع وهو  $\overline{AM}$  اذا كان  $\overline{AM}$  و  $\overline{AN}$  اللذان  
 هما ضلعان متوازي الاضلاع المذكور دالين على المركبتين  
 وكما كان متوازي الاضلاع للقوى مطبقا على ما ينشأ عن الاعضاء من  
 الحركات الصغيرة وعلى حركات الآلات المستعملة والحركات الخارجة الى  
 فخر على عملها لزم أن نعتبر في سائر الاحوال ان ما نستعمله من القوى المركبة  
 يكون متجهها على وجه بحيث يحدث منها محصلة متجهه ينقسم الى الجهة التى  
 يظهر لنا انها موافقة وان كمية القوى المعدومة تكون قليلة مهما ممكن هذا  
 وقد تجاسرنا على أن نفحص ان الممارسة المحصورة بالاتباء والمواظبة  
 فى القويقات والورش يحدث منها فى القوة والزمن وفقره فوائد عظيمة ويتيسر به  
 التباعد عن الاخطار الموهلة ولنوضح ذلك بشال يكتر وقوعه مع ما فيه غالبا  
 من الضرر فنقول

اذا كانت حركة العربى سريعة فازيجت راكبا فوثب من بابها ونط الى الارض  
 فان جسمه يكون مدفوعا اولاً بتحرك هذه العربى الاثقى وثانياً بقوة  
 التناقل الرأسية فتكون محصلة القوتين المائلة ميبا فى وقوع هذا الشخص  
 حين يصل الى الارض وحيث كان الوتر الدال على محصلة القوتين مؤثرا مع  
 الانحراف فان هذا القطار الذى يترجمركز ثقل هذا الشخص لا يترجمركليه  
 اذا كان منتصباً فينبغى له حتى لا يقع أن يميل كثيراً عند النط بالجزء الاعلا



من جسمه الى الجهة التي تأتي منها العربة وكثيرا ما تمزقت اعضاء الناس بل منهم من هلك عند النط من عربة مجرورة باقراص ازيجتهم سرعتها وما ذالك الا لجهلهم بهذه الكيفية ودعشتهم عند حصول الخطر

ومنى كان ضلعان كضلعى **أ ب** و **ا ب** من شكل متوازى الاضلاع (شكل ٤) متساويين حدث من ذلك شكل معين وقسم الوتر الزاوية الواقعة بين الضلعين الى جزئين متساويين وعليه فمى **ك** كان قوتان متساويتين فان محصنهما تقسم الزاوية الحادة منهما الى جزئين متساويين فيؤخذ من ذلك انه لا داعى لان تكون المحصلة قريبة من مركبة أكثر من اخرى

ولجميع الطيور شكل متماثل بالنسبة لمستوى **أ د** الرأسى (شكل ٥) الممتد من رؤسها الى اذنانها متى كانت منتصبية مع الاستقامة فاذا طارت حدث من اجنحتها حركات متماثلة وضربت الهواء الذي يرد تلك الاجنحة بقوتين متساويتين موضوعتين على وجه متماثل بالنسبة لمستوى **أ د** فاذن تكون محصلة هاتين القوتين موضوعة فى هذا المستوى ودافعة لكل طائر على اتجاها معين بهذا المستوى

وكما كان ذراعا الانسان وساقاه مستعملة على وجه متماثل كان جانباه متماثلين ولاجل تحصيل تأثير ميكانيكى ايا كان يلزم ان محصلة مجهودات هذه الاعضاء تمر بمستوى الجسم الانسانى

ورئىل هذا التأثير يؤخذ من تعليم فن العوم وذلك لان العائم لاجل أن يتبع الطريق المتجهة على مستوى تماثل جسمه يصنع حركات متماثلة بيديه ورجليه كما فى (شكل ٦) ويعين اندفاع الماء على راحتي اليدين واخص الرجلين بسهام **ف ف ف ف** والمحصلتان برمزى **ر ر**

والسهمان التماثل الصورة له بالنسبة للمستوى الرأسى الممتد من رأسه الى ذنبه (شكل ٧) امسا ط موضوعة بالتماثل على جانبيه يحركهما مع السوية كما ان العائم يحرك يديه ورجليه بحيث يحدث من ذلك ومن مستوى التماثل زاوية واحدة وهذا هو سبب كون المحصلة تكون فى هذا المستوى وتحدث

سيرا مستقيما

وكذلك السفن المصنوعة على صورة السمك لها مستورا ممي متماثل ومتجه  
من المؤخر الى المقدم فتي اريد تسيير السفينة استعمل لذلك قوى متساوية  
موضوعة بوجه متماثل في كل من جهتي المستوى المذكور وهذه القوى  
(شكل ٨) تارة تكون مجاذيف وتارة بجلات ذات كفات وتارة اشرالا  
(راجع القوى المحركة في الجزء الثالث من هذا الكتاب) وقد تكون محصلة  
تلك القوى موضوعة دائما في مستوى التماثل اذا كان الغرض تسيير السفينة

سيرا مستقيما

وقد يؤخذ من العوم الناشئ عن قوة الهواء الجاهي تطبيق ثابت دائما يتعلق  
بتحليل القوى وليكن اب (شكل ٩) محور السفينة التي يكون فيها مستقيم  
م ن دالا على مسط الشراع المستند في نقطة و على الصاري فاذا كان  
و ح دالا مقدارا واتجاها على قوة س التي يدفع بها الهواء الشراع  
نرسم متوازي الاضلاع القائم وهو و ش ح د الذي وزه و ح فاذا  
حللنا قوة و ح الى قوتين فان احدهما وهي و ش الموجودة  
في جهة شراع م ن لا تحدث تأثيرا ما تسيير السفينة وثانيتهما وهي و د  
العمودية على الشراع هي التي دون غيرها تدفع الشراع المذكور والصاري  
والسفينة واذا حللنا قوة و د الى قوتين اخريين فان احدهما وهي و ه  
تكا تسيير السفينة في جهة محور التماثل وثانيتهما وهي و ف تدفعها  
بالجنب وتحدث التحرك المسمى بالتحرف ويجب على صانع السفن والملاح  
أن يمزجا تركيب سفنهما وتحركها بحيث يحدث من قوة و ه اعظم سير ممكن  
ومن قوة و ف اقل انحراف ممكن

وفي متوازي الاضلاع وهو اب ش د (شكل ١٠) اذا كانت زاوية  
ب ا ش منفرجة جدا يكون وزه وهو ا د قصيرا جدا وكلما كانت  
زاوية ب ا ش صغيرة كان الوتر المذكور ممتدا الى النقطة التي تكون فيها

زاوية  $\overline{ب\Gamma\Delta}$  المذكورة معدومة وحيث يكون  $\overline{ا\Gamma}$  موضوعا على  $\overline{ا\Delta}$  وتكون المحصلة مساوية لمجموع المركبتين وعليه فإذا لم تكن زاوية  $\overline{ب\Gamma\Delta}$  معدومة لاتفقد محصلة قوتي  $\overline{ا\Delta}$  و  $\overline{ا\Gamma}$  مساوية بالكلية لمجموع هاتين المركبتين

ويكثر استعمال خاصية محصلة  $\overline{ا\Delta}$  وهي انتقاصها كلما زادت زاوية  $\overline{ب\Gamma\Delta}$  ولذا كذلك مثالا سم لا نقول

إذا فرض ان المطلوب ربط صندوق  $\overline{م\Gamma}$  بجبل من دبابرة (شكل ١١) فانه يبدأ بجعل  $\overline{ش\Delta}$  الذي هو طرف الجبل المذكور مارا من نقطة  $\Delta$  المصنوعة في نقطة  $\Delta$  التي هي طرف  $\overline{ا\Delta}$  ثم يشد الطرف الخالص شدا اقربا في الاتجاه قريب جدا من  $\overline{ا\Gamma}$  فإذا كان لا يمكن تحصيل تأثير في هذه الجهة فان هذا الطرف يوجه بالعرض الى  $\overline{ا\Delta}$  ومضى شدا بقوة صغيرة حدث من ذلك زاوية  $\overline{ب\Delta\Gamma}$  اعنى ان نقطة  $\Delta$  تجبر على أن تكون

في  $\Delta$  بحيث ان الوتر الصغير وهو  $\overline{ه\Gamma}$  من متوازي الاضلاع يكون عند رسم هذا الشكل دالا على القوة الصغيرة لليد التي توازن شدى الجبل العظيم وهما  $\overline{ب\Delta}$  و  $\overline{ه\Gamma}$  ثم يشبك طرف الجبل الخالص تحت الصندوق ثم بين  $\overline{ه\Delta}$  و  $\overline{ه\Gamma}$  و  $\overline{ا\Delta}$  الخ وتوصل نقطة  $\Delta$  الى نقطة  $\Delta$  بواسطة شدا الجبل شدا تدريجيا

وكانوا سابقا يستعملون كثيرا السلاح المعروف بالنشاب او السهم فكانوا يرمونه بقوس  $\overline{ش\Delta}$  المرن (شكل ١٢) المشدود بوتر  $\overline{ش\Delta}$  وكان هذا القوس مستعملا بكثرة وقد تقدم في الدرس الثالث من الهندسة ان كلمة قوس ووتر ونشاب نقلت من فن الصيد والقنص والحرب واستعملت في الفاظ العلم ولذا ذكر تأثير القوس فنقول

ان الانسان يقبض باحدى يديه على قوسه في نقطة  $\Delta$  ويمسك بالثانية الطرف الغليظ من النشاب ويتكى على هذا الطرف في نقطة  $\Delta$  التي

هي منتصف الوتر وما يذله من الجهد في ابعاد نقطة  $ه$  عن نقطة  $ف$  يكون  
 مينا بمقدار  $٢$   $ف غ$  وكذلك الجهد الحاصل على نصفي الوترين يكون مينا  
 بمقدار  $غ د$  و  $غ ث$

فاذا افلقت اليد الموضوعة في نقطة  $غ$  طرف السهم فان نصفي وترى  
 $غ ث$  و  $غ د$  يأخذان طولهما الاصل وذلك لانهما يؤثران في السهم  
 بقوة واحدة ويجبرانه على اتباع اتجاه الوتر وهو  $غ ه$

وعند الرمي تكون نسبة الشد الحاصل من كل نصف وتر الى القوة التي بها يرمى  
 سهم  $اب$  كنسبة طول  $غ ث$  او  $غ د$  الى ضعف  $غ ف$   
 لان  $غ ف$  هذا هو نصف وتر متوازي الاضلاع للقوى المتألف من ضلعي  
 $غ ث$  و  $غ د$

ولكن حيث كان قوس  $ث ه د$  في العادة جسما مرنا فانه يكاد أن يكون  
 قائما مع الشدة بقدر انطباق زاوية  $ث غ د$  وبذلك تزداد القوة التي  
 يرمى بها السهم ايضا وهذه الطريقة يمكن لاي انسان لا يستطيع يده رمي السهم  
 بعيدا عنه الا ببعض خطوات مع يسير من القوة أن يرمى هذا السهم الى ابعاد  
 كبيرة بقوة كافية ويجرح به او يقتل الانسان او غيره من الحيوانات الكبيرة  
 وهالك مثلا آخر يبين لك شدة قوة صغيرة جدا تؤثر بكيفية مماثلة للكيفية التي  
 نشئ بها وتر القوس فنقول

اذا كان الغرض ان الهر به (اي العود الافرنجي) يكون له درجة من الشدة  
 يصل بها الى صوت لائق له لزم أن يستعمل لذلك مفتاح تضاعف به قوة ملاوي  
 الاوتار اربع مرات او خسا فان الرجلين الشديدين اذا قبض كل منهما بيده

على طرف بعض اوتار من العود وشده حتى يبلغ الغاية لحقهما من ذلك منقعة  
وتعب اذا كانت تلك الاوتار متصلة بهذه الآلة كاتصال الجزء بكله  
وقد حسب المهندس بروني شد اوتار البيانو (اي القانون الاغربي) فوجد  
مجموع شداته يزيد على قوة اربعة افراس ومع ذلك فالقوى الصغير الذي اذا مد  
ذراعيه على طول اوتار العود لا يسندهما الا بالمشقة يجدي في اصابعه الطيفة  
قوة كافية للقبض على هذه الاوتار والضرب عليها من منتصفها باتاناله بحيث  
يحدث من ذلك نصف اوترين منزويان وهما ضلعا كثيرا لاضلاع (شكل ١٣)  
الذي يدل وتره على الجهد الحادث من اصابع القوي المذكور ومعنى فتح يده  
كان في هذا الجهد قدرة كافية لان تحدث للوتر تحرك الاهتزاز الذي تسمع رتبه  
مدة طويلة ما لم ينقطع بالدقاسة او يتعذر بين انقحام الاهوية والمقامات  
المتوالية

ولم نذكر الى هنا الا ما يتعلق بمتوازي الاضلاع البسيط للقوى اى الذي لم يتكون  
الامن من كبتين ومحصلتهما

ولنفرض الآن ان هنالك ثلاث مركبات مؤثرة في نقطة مادية كنقطة  $A$   
(شكل ١٤) وليكن  $AB$  و  $AC$  و  $AD$  اجزاء من مستقيم واحد  
دالة طولها واتجاهها على المركبات الثلاثة المذكورة فاذا رسمنا متوازي الاضلاع  
وهو  $ABDE$  باعتبار مستقيمي  $AB$  و  $AC$  كضاعين له كان وتره  
وهو  $AE$  دالا على مقدار محصلة القوتين الاوليين واتجاههما بمعنى ان  
الجسم الواقع عليه تأثير قوتي  $AB$  و  $AC$  معا وقوة  $AE$  وحدها  
يقطع مسافة واحدة في اتجاه واحد وزمن واحد

ولتركب محصلة  $AE$  الجزئية مع القوة الثالثة وهي  $AD$  فيحدث من  
المستقيمين الدالين عليهما متوازي الاضلاع وهو  $AEFD$  ويكون  $AF$   
الذي هو وتره هذا الشكل الجديد دالا بالضرورة على محصلة  $AD$  و  $AE$   
الا ان التأثير الحادث من  $AE$  يكون مكافئا للتأثير الحادث من قوتي  $AB$

و  $\overline{ا\theta}$  فاذن يكون التأثير الحادث من قوة  $\overline{ا\phi}$  مكافئاً للتأثير الكلي  
الحادث من قوى  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\theta}$  و  $\overline{ا\delta}$  الثلاثة

ويمكن الوصول الى هذا الحاصل بكيفية اخرى وهي انه متى كانت قوتان  
كقوتى  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\theta}$  (شكل ١٥) مؤثرتين في جسم بجسم  $\overline{ا}$

فان اثرت فيه القوة الاولى وهي  $\overline{ا\beta}$  وحدها في زمن معلوم فانها تنقله  
من  $\overline{ا}$  الى  $\overline{ب}$  وان اثرت بعدها القوة الثانية وهي  $\overline{ا\theta}$  وحدها  
فانها تنقله ايضا من  $\overline{ب}$  الى  $\overline{ه}$  بالتوازي لقوة  $\overline{ا\theta}$  بحيث يكون  
 $\overline{ب\theta} = \overline{ا\theta}$  ثم ان اثرت فيه قوة ثالثة كقوة  $\overline{ا\delta}$  وحدها فانها تنقله

من  $\overline{ه}$  الى  $\overline{ف}$  بالتوازي لقوة  $\overline{ا\delta}$  بحيث يكون  $\overline{ه\phi} = \overline{ا\delta}$

وبالجملة فالجسم المذكور الواصل الى  $\overline{ف}$  بالتأثير المتوالى الحادث  
من القوى الثلاثة يكون موجودا مع الضبط في النقطة التي كان يصل اليها  
لو كانت هذه القوى الثلاثة كلها مؤثرة فيه في زمن واحد لاجل نقله

وهذه الكيفية لانغايير الكيفية السابقة الا بكونها دون المتقدمة في الصعوبة  
وذالك لانه يقتض في الضلع الثالث والرابع من متوازي اضلاع شكل ١٤

فاذا كان هناك عددا من القوى كقوى  $\overline{وا}$  و  $\overline{وب}$  و  $\overline{وث}$  الخ  
(شكل ١٦) المؤثرة في نقطة مادية فان هذه النقطة تنقل في زمن معلوم

الى مسافة ابعد من المسافة التي نقل اليها الجسم في صورة ما اذا اثرت فيه  
القوى كل واحدة على حدة مع التوالى لاجل نقله الى اتجاهها الاصلى

في الزمن المذكور وحيث نمتد بالتوالى مستقيما  $\overline{ا\alpha}$  و  $\overline{ا\beta}$  و  $\overline{ا\gamma}$  الخ  
موازية ومساوية في الطول مستقيما  $\overline{وب}$  و  $\overline{وث}$  و  $\overline{ود}$  الخ

ثم نصل نقطة  $\overline{وا}$  الاولى بنقطة  $\overline{ه}$  الاخيرة من هذه الاضلاع التسلسلية  
فيكون مستقيما  $\overline{وه}$  دال على محصلة جميع المركبات الميمنة بمستقيما

$\overline{وا}$  و  $\overline{وب}$  و  $\overline{وث}$  و  $\overline{ود}$  الخ  
فاذا غلقنا حينئذ بمستقيم  $\overline{وه}$  كثير الاضلاع وهو  $\overline{وا\beta\gamma\delta\epsilon\phi}$  هو

كل هذا المستقيم  $\overline{دالا}$  على المحصلة الكلية متى كان كل من الاضلاع  $\overline{دالا}$  على  
قوة مركبة

فاذا عكست محصلة  $\overline{وه}$  الى  $\overline{وه}$  فان هذه القوة المحصلة المضادة  
للمركبات بدون واسطة تكون موازنة لتلك المركبات ومن هنا الدعوى النظرية  
اللطيفة المنسوبة الى المهندس  $\overline{لينتز}$  وهي اذا كان هنالك قوى بقدر ما يراد  
واقعة على نقطة مادية وكانت هذه القوى مبنية مقدارا واتجاها في سمت  
ستابع باضلاع شكل كثير الاضلاع منتظما كان او غير منتظم غير أنه يكون  
ناما ومغلوفا فان هذه القوى كلها تكون متوازنة بالضرورة

ويوجد في كثير الاضلاع وهو  $\overline{م ب ن ح خ ر ض}$  (شكل ١٧) زاوية

داخله  $\angle$  زاوية  $\angle$  وهذه الزاوية لا بد منها في عمل كثير الاضلاع لان اتجاه

سهم  $\overline{خ ر}$  يدل على الجهة التي ينبغي أن يرسم فيها ضلع  $\overline{خ ر}$  لتكون  
القوى المتوازنة متعاقبة كلها في جهة واحدة وبالجمله فكل ضلع من كثير  
الاضلاع يدل على مقدار القوى واتجاهها

وفائدة الكيفية التي اعتبر فيها تركيب القوى هي انها تستعمل ايضا في القوى  
المؤثرة في مستو واحد او عدة مستويات مختلفة وذلك مهم جدا في كثير  
من الحالات

وينتج من ذلك انه اذا لم تكن قوى  $\overline{وا}$  و  $\overline{وب}$  و  $\overline{وث}$  و  $\overline{ود}$  الخ  
(شكل ١٦) كلها في مستو واحد لا تكون اضلاع  $\overline{=}$  كثير الاضلاع

وهو  $\overline{وا ر ش د}$  الخ الموازية لاتجاهات تلك القوى كل نظيره في مستو  
واحد غير أنه في هذه الصورة تكون محصلة جميع القوى وهي  $\overline{وه}$  مبنية  
مقدارا واتجاها بمستقيم  $\overline{وه}$  الممتد من نقطة  $\overline{و}$  التي هي مبدأ كثير  
الاضلاع وهو  $\overline{وا ر ش د}$  الخ الى نقطة  $\overline{ه}$  التي ينتهي فيها آخر الاضلاع  
الدالة على القوى المركبة

وكما سهل عمل كثير الاضلاع وهو  $\overline{وا-ر-ش-خ}$  على الورق او على الارض اذا كان هذا الشكل بتمامه في مستو واحد كان عمله صعبا ومتعبا اذا لم تكن اضلاعه التي يتركب منها في مستو واحد

هذا وقد ظهر لنا مما سبق في الدرس الثالث والسابع والثالث عشر من الهندسة في الجزء الاول من التعريفات والقضايا طريقة مختصرة مضبوطة في تحصيل اتجاه المحصلة ومقدارها مهما كان عدد القوى المركبة واتجاهها ومقدارها

وحاصلها انه لاجل تحصيل مسقط مستقيم  $\overline{م-ن}$  (شكل ١٨) الموضوع على مستو بالنسبة الى محوري  $\overline{و-س}$  و  $\overline{و-ص}$  يكفي أن نزل من نهايتي هذا المستقيم بعمودين على محوري المسقط المذكور فيكون جزأ  $\overline{م-م'}$  و  $\overline{م'-م''}$  المحصوران بين هذين العمودين هما المسقطان المطلوبان

فاذا مددنا  $\overline{م-م'}$  الى  $\overline{ا}$  و  $\overline{م'-م''}$  الى  $\overline{ب}$  فانه يحدث متوازي الاضلاع وهو  $\overline{ا-ب}$  الذي يمكن اعتبار  $\overline{م-ن}$  فيه كقوة محصلة مركبتها  $\overline{م-ب}$  بمستقيمي  $\overline{م-ب} = \overline{م-م'}$  و  $\overline{م-ا} = \overline{م'-م''}$  حيث ان هذين المستقيمين الاخيرين متوازيان ومحصوران بين متوازيين آخرين كما تقدم في الدرس الثاني من الهندسة

وما ذكرناه في شان القوة الواحدة يمكن اجراؤه في قوتين او ثلاثة او اربعة او اكثر من ذلك ومهما كان مقدار القوى واتجاهها فان كل واحدة منها تكون مبينة بمسقطها على محورين متقاطعين

فاذا كان هنالك عددا من القوى مثل  $\overline{م-ن}$  و  $\overline{ن-ح}$  (شكل ١٨) فانه يكفي أن نأخذ مساقطها على محوري  $\overline{و-س}$  و  $\overline{و-ص}$  المتقاطعين ثم نعتبر أن الجسم يتحرك من جهة على  $\overline{و-س}$  بقوى  $\overline{م-م'}$  و  $\overline{ن-ن'}$  و  $\overline{ح-ح'}$  و  $\overline{ح-ح''}$  ومن جهة اخرى على  $\overline{و-ص}$  بقوى  $\overline{م'-م''}$  و  $\overline{ن'-ن''}$  و  $\overline{ح'-ح''}$  فيكون التأثير الناشئ عن ذلك واحدا دائما لانه حينئذ يكون مستقيما



م ن ح الخ التالى لكثير الاضلاع وهو م ن ح خ دالا على محصلة قوى

م ن و ن ح و ح خ ويكون مسقطاها م م و م م خ هما مجموع المساقط الجزئية او فاضلها فاذا كانت قوى م م و م م و م م الخ و م م و م م و م م الخ مؤثرة على مستقيم واحد فان محصلتها تكون اولا متجهة على هذا المستقيم وثانيا تكون مساوية لمجموع سائر القوى المتجهة الى جهة ناقصا مجموع القوى المتجهة الى اخرى تقابلها ولاشئ اسهل في العمل من هذا البيان

ولنفرض (شكل ١٧) جملة من القوى مبينة بمستقيمات م ن

و ن ح و ح خ الخ فاننا اسقطنا هذه المستقيمات على محور و س في م م و م م و م م الخ فان قوى م م و م م خ يكون دفعهما الى جهة مضادة لجهة م م و م م و م م الخ وعلى ذلك تكون المحصلة مساوية م م + م م + م م - م م - م م + م م ومن البديهي ان م م + م م - م م هو م م وان م م - م م هو م م فاذن تكون المحصلة الكلية مساوية م م + م م خ

اعني م م وهذا الجزء المحورى هو مسقط م م الذى يفتلق كثير الاضلاع للقوى وبناء على ذلك يكون هو الدال على محصلة م ن و ن ح و ح خ الخ

فانما كانت جميع قوى م ن و ن ح و ح خ الخ (شكل ١٨) في مستوى محورى و س و و س فان التمركات الحادثة من نقطة م على محورى المسقط تكون دالة دلالة تامة على التمركات الحادثة من م م بواسطة قوى مركبة ايا كانت كقوى م ن و ن ح

## و ح خ الخ

ولكن اذا لم تكن القوى المذكورة في مستوى المحورين لزم اخذ ثلاثة محاور عمودية على بعضها بان نأخذ مثلا مستويا رأسيا ومستويين اقييين احدهما متجه من الشمال الى الجنوب والاخر من المشرق الى المغرب وعلى ذلك اذا اترلنا على المحاور باعمدة من نهايتي كل مستقيم دال على قوة كانت المساقط دالة على ثلاث قوى بحيث يؤول الامر الى ان النقطة المادية المتحركة بالتوالي على اتجاه كل من القوى المذكورة تصل الى الوضع الذي كانت تصل اليه لو كانت متحركة بقوة واحدة اصلية وكذلك يتضح بواسطة متوازي الاضلاع تحليل قوتين وتركيبهما على مستوى ويتضح ايضا بواسطة متوازي السطوح تحليل وتركيب ثلاث قوى في الفراغ كما تقدم في الدرس السابع من الهندسة الذي تكلمنا فيه على متوازيات السطوح

وحيث اذا اردنا وتر  $\overline{أغ}$  (شكل ١٩) من زاوية  $\overline{أ}$  الى زاوية  $\overline{غ}$  المقابلة لها فمن البديهي انه اذا اخذنا الوتر المذكور مع اضلاع  $\overline{أب}$  و  $\overline{أث}$   $= \overline{ب ه}$  و  $\overline{أد} = \overline{ه غ}$  الثلاثة فحصل من ذلك كثير اضلاع  $\overline{أ ب ه غ أ}$  مغلوقة من سائر جهاته فاذن يمكن أن نعتبر ان  $\overline{أ غ}$  الذي هو ضلع كثير الاضلاع المذكور يكون دالا مقدارا واتجاها على قوة  $\overline{أ غ}$  المتوازنة مع القوى الثلاثة المبينة على وجه التناظر مقدارا واتجاها بمستقييات  $\overline{أ ب}$  و  $\overline{أث}$  و  $\overline{أد}$

فعلى ذلك اذا كانت قوة  $\overline{أ غ}$  مثلا تكفي في نقل نقطة  $\overline{أ}$  الى نقطة  $\overline{غ}$  في زمن معلوم فان قوة  $\overline{أ ب}$  تنقل في زمن مساو لهذا الزمن النقطة المذكورة من  $\overline{أ}$  الى  $\overline{ب}$  ثم تنقل كذلك قوة  $\overline{أث}$  في زمن مساو له نقطة  $\overline{أ}$  من  $\overline{ب}$  الى  $\overline{ث}$  وكذلك قوة  $\overline{أد}$  تنقل في زمن مساو له ايضا

قطعة ١ من ٥ الى غ

فاذن اذا كانت القوى الثلاثة الميئنة بمستقييات أ ب و أ ث و أ د  
 مؤثرة معا فانها تنقل ١ الى غ في عين الزمن الذي تكون فيه كل من  
 هذه القوى مؤثرة على حديتها بالتوالي او الذي تكون فيه محصلة أ غ  
 مؤثرة دون غيرها

ولنبه هنا على انه اذا اطلق اسم محاور المسقط على مستقييات أ ب و أ ث  
 و أ د فان اجزاء أ ب و أ ث و أ د تكون بالضبط على هذه

المحاور مساقط لوتر أ غ الذي هو محصلة تلك القوى الثلاثة  
 ثم ان هذه الطريقة التي سلكناها وان كانت مطولة الا انه لا بد منها  
 حتى يعرف ان الخواص التي يستصعبها المبتدى ويهاجمها انما هي من قبيل  
 المبادئ

واذا حللنا كلاما من القوى التي يمكن وقوعها على جسم واحد الى قوتين  
 موازيتين لمحورين معلومين او الى ثلاث قوى موازية لثلاثة محاور معلومة فانه  
 يتحصل من ذلك كثير من القوى الموازية لكل محور بقدر ما يوجد من القوى  
 المختلفة الواقعة على الجسم مهما كان مقدارها واتجاهها وبذلك يؤول تأثير  
 القوى التي لا مشابهة بينها من حيث اتجاهاتها الى تأثير القوى المتوازية  
 بلا واسطة

فاذا كان لساير القوى المتحصلة من التحليل المذكور محصلة واحدة مارة بمركز  
 ثقل الجسم فانها تكاد تسير الجسم المذكور الى الامام على خط مستقيم بدون  
 دوران كالموازنة الى قوة واحدة مساوية لمجموعها وموازية لاتجاهها  
 المشترك بينهما

واذا كان لساير القوى المذكورة محصلة غير مارة بمركز الثقل المتقدم فان هذه  
 المحصلة تؤثر في الجسم تأثيرا يديره ويلزم الاعتناء بالبحث عن كيفية حصول

هذا التحرك لئلا يفرض أن قوة  $\overline{AS}$  لا تكون مارة بمركز الثقل وهو  $\overline{G}$   
 (شكل ٢٠) فمن حيث أن  $\overline{G}$  عود ممتدة من نقطة  $\overline{G}$  الى  $\overline{AS}$   
 الذي هو اتجاه تلك القوة فان تحرك الجسم لا يتغير متى اضيف اليه قوة واحدة  
 كقوة  $\overline{G}$  موازية ومساوية لقوة  $\overline{AS}$  وقوتان كقوتى  $\overline{اص}$   
 و  $\overline{اص}$  الموازيان لقوة  $\overline{G}$  المتجهتان بالتضاد والمساوية كل واحدة  
 منهما لنصف  $\overline{G}$  والموضوعتان على وجه بحيث تكون  $\overline{G} = \overline{ا} + \overline{ا}$   
 لان قوة  $\overline{G}$  متوازنة مع  $\overline{اص}$  و  $\overline{اص}$  غير أن قوة  $\overline{اص}$   
 لما كانت نصف قوة  $\overline{AS}$  وكانت متجهة الى جهة مضادة لها اعدمت  
 نصف  $\overline{AS}$  وبناء على ذلك يكون الجسم متحركاً بثلاث قوى احداها قوة  
 $\overline{G}$  المارة بمركز ثقل الجسم والمساوية لقوة  $\overline{AS}$  والثانية نصف  $\overline{AS}$   
 المؤثرة في جهة  $\overline{AS}$  والثالثة  $\overline{اص}$  المساوية لنصف  $\overline{AS}$  والمتجهة  
 الى جهة مضادة لها  
 وحيث كانت القوتان المساويتان لنصف قوتى  $\overline{AS}$  و  $\overline{اص}$  بعيدتين  
 بالسوية عن مركز الثقل وهو  $\overline{G}$  كانتا مؤثرتين تأثيراً به دور مركز الثقل  
 المذكور بدون أن يصيراه الى جهة اكثر من اخرى حيث لا مقتضى لكون  
 احدى القوتين المذكورتين المتساويتين المتجهتين بالتوازي الى جهتين  
 متقابلتين تجذب المركز المذكور الى جهتها زيادة عن القوة الاخرى  
 فعلى ذلك أولاً لا يتقدم مركز الثقل ولا يتأخر بواسطة تأثير نصف قوتى  
 $\overline{AS}$  و  $\overline{اص}$  وثانياً يكون هذا المركز منقولاً بتأثير قوة  $\overline{G}$   
 على خط مستقيم بالنسبة الى تأثير قوة مساوية لقوة  $\overline{AS}$  وموازية لها  
 وبناء على ذلك اذا كان هناك عدة قوى مؤثرة في جسم له صورة تما وحللنا اولاً

جميع تلك القوى بالتوازي الى محاور معلومة ثم عينا ثانيا المحصلة الكلية للقوى المذكورة لاجل نقلها بالتوازي الى مركز الثقل فان هذا المركز يتحرك تحركا مستقيما كالمكانت تلك القوى واقعة كلها على مركز الثقل المذكور بدون واسطة وهذه هي القضية الشهيرة المتعلقة بحفظ مركز الثقل وتسميته بذلك مما لا بد منه لاسيما في هذه الخاصية وهي أن التحرك كان الداخلي الحادثة في الجسم من تأثير اجزائه بعضها في بعض او من مقاومتها لبعضها لا تغير شيئا من تحرك مركز الثقل بالنسبة لنقط الفراغ الخارجية

ثم ان لعب البليارد (وهي تحت كبة يلعب عليها باكر صغيرة من العاج اوسن الفيل) يؤخذ منه عدة امثلة متنوعة واضحة جدا وخواص التحرك الحادث للاجسام من تأثير قوة غير مارة بمركز ثقلها فاذا دفع البيل (وهي كرة صغيرة من العاج اوسن الفيل) على غير اتجاه مركزه بل على يمينه مثلا فانه يسير اولاً الى الامام بالسرعة التي كان يسيرها لو دفع على اتجاه مركزه وثانياً يكون له تحرك مستدير من اليمين الى الشمال وذلك مع السير الى الامام فاذا دفع من فوق مركز الثقل فانه يسير الى الامام ايضا مع السرعة التي كان يسير بها لو دفع على اتجاه مركزه ويكون له تحرك دوران من فوق الى تحت وذلك ايضا مع سيره الى الامام

وقد يكون التأثير بخلاف ذلك اذا وقع البيل على شمال مركز الثقل او تحتها فاذا دفع من تحت مركز الثقل فان المقاومة الحادثة من احتكاك سطح البليارد بالبيل تكون متزايدة واذا دفع من تحت المركز وكان ذيل قضيب الدفع مرفوعا فانه يسير مع البطيء كالمكان ذيله مؤثرا بالتوازي للبليارد وحينئذ يمكن ان سرعة الدوران تنقله الى الغاية التي لا تنعدم فيها السرعة المذكورة تمامها بسبب الاحتكاك المذكور وعند انعدام سرعة البيل المتواليه وزوالها بالكلية وحيث كانت مقاومة سطح البليارد مستمرة دائماً كالقوة المعطلة كان بعض هذه المقاومة منقصا لسرعة دوران البيل والبعض الآخر مؤثرا كالمكان منقولا الى مركز البيل المتأخر بذلك البعض وهذا هو السبب في انه يمكن من اول دفعة

من ذيل قضيب البليار تقديم البيل ثم تأخير  
وهناك تأثيرات مشابهة لتأثيرات لعب البليار توجد في تحرك كلال المدافع  
والقنابر ويحصل منها فوائد عظيمة جدا معرفتها من اهم الاشياء في فن الحرب  
وهي الغرض الاصل من فن الطوبجية

### \*(الدرس السادس)\*

في بيان الالات البسيطة وهي الحبال والقناطر المعلقة وعدد دخول العربات  
وادوات السفن ولوازمها وما اشبه ذلك

يطلق اسم الآلات على الاجزاء المادية المجمعة المستعملة لنقل اى قوة من  
القوى بان يغير اتجاهها او سرعتها او المسافة الاقية التي يقطعها الجسم  
في زمن معلوم

والالات البسيطة سبع ومنها تألف جميع الآلات المركبة وهذه الآلات  
البسيطة هي الحبال والرافعة والبكر والمخاف (اى المنبنيق) والمستوى المائل  
والبريمة والخابور وسنن كلالها تفصيلا على حسب ما تقتضيه اهمية  
موضوعه ولنشرع في ذكرها على هذا الترتيب فنقول

### \*(بيان الحبال)\*

قد فرض المهندسون اولالا لاجل سهولة معرفة خاصية الحبال المستعملة  
لنقل القوى انها لينة وغير قابلة للامتداد ومجردة عن التناقل ثم نظروا لما يلزم  
اعتباره فيها من شذها كثيرا او قليلا ومدتها وتناقلها فبحثوا ( بالنظر  
والتجربة ) عن التغيرات التي يمكن عر وضها للعوامل الاصلية بخواص  
المادة التي تتركب منها الحبال المذكورة

ثم ان تحويل المسائل الصعبة الى اصولها السهلة ليس الا كيفية عقلية بها  
يتقوى الفهم السقيم وتسهل وسائط العمل فلذا آتيناها في البحث عن خواص  
الحبال وسائر الآلات البسيطة

فلنفرض اذن حبالا على غاية من اللين غير قابل للامتداد ومجردا عن التناقل  
ثم نبده بايقاع قوة واحدة على كل من طرفي هذا الحبل ونفرض ان هاتين

القوتين الشاذتين للعبل في جهتين متقابلتين متساويتان فيثاثيرهما يكون  
الحبل مشدودا شدا مستقيما و طرفاه على اعظم بعد ممكن فعلى ذلك تكون القوتان  
المذكورتان متوازيتين اذ لا داعي لكون الحبل المشدود من طرفيه يتقدم  
الى جهة اكثر من اخرى

فاذا كان هناك قوة ثالثة شادة للعبل في جهة احدى القوتين الاوليين  
فان هاتين القوتين يعدمان بعضهما ويكون تحرك الحبل من جهة القوة الثالثة  
فقط كما لو كانت القوتان الاوليان لم يوجد اصلا وهذا التحرك الحادث على اتجاه  
الحبل لا يمنعه من أن يكون على خط مستقيم فاذن لا يكون الحبل مشدودا  
الا بالقوة الثالثة واما القوتان الاوليان المتوازيتان فلا يحصل منهما الا هذا  
التوازن الناشئ عن شد كل منهما للحبل

وتتبعه تلك تكون واحدة مهما كان طول الحبل ويؤخذ من ذلك ان الشد  
الحادث يكون ايضا واحدا في كل من نقط الحبل التي هي **ث** و **آ** الخ  
و بالجملة فلاجل معرفة شد الحبل من نقطة منه كنقطة **ث** (شكل ١)  
نقرض ايقاع قوتي **آس** و **بص** على تلك النقطة وكذلك لاجل  
معرفة شدة من نقطة **آ** نقرض ايقاع قوتي **آس** و **اص** عليها  
ولا يتغير تأثير هاتين القوتين مهما كانت نقطة وقوعهما

وينتج من ذلك ان شد الحبل من نقطة **ث** مثلا يكون (كما تقدم قريبا)  
واحدا كما في طرف **آ** فاذن يكون الشد واحدا في جميع اجزاء الحبل  
ولنقرض الآن انه يكون للعبل في جميع طوله قوة ثابتة ماعدا نقطة واحدة  
تكون اضعف من غيرها فبازياد القوتين المتضادتين تدريجا بكمية واحدة  
يتوصل الى حد يكون فيه الشد (المفروض انه واحد فيما عدا النقطة المذكورة)  
قليلا لاجل نقص الحبل في النقطة الضعيفة المذكورة دون غيرها من النقط  
الاخرى فاذن يحصل نقص الحبل في هذه النقطة ويكون التوازن معدوما

وهذه الكيفية هي التي نستعمل في القنون مع الضبط لقياس قوة الحبال فاذا اريد  
استعمال الحبال في تثبيت الاشياء التي ينبغي المحافظة على امساكها وفي تعليقه

فلا بد من تحقيق أن هذه الحبال تقبل ما يعرض لها من المجهودات العظيمة بدون تقصير ولا انقطاع وعلى ذلك فيلزم أن نعرف من مبدء الامر المقاومة التي تقبها تلك الحبال او اقنن المتخذة من الحديد المستعملة الآن عند البحارة الفرنسية لانه اذا نظر في كل كلبه من السلسلة الى رداء الحديد المتخذ منه او رداء صناعته يكفي ادنى قوة في جعل الفنة عرضة للكسر كما اذا كانت الكلبات كلها على هذا النسق

وإذا كان الحبل قصيرا قلت الموانع التي تمنعه عن أن يكون في بعض قطعه  
أضعف منه في البعض الآخر وإذا أخذنا طرفي حبل غير متساويين في الطول  
وشددناهما شدا متساويا فإن الطرف القصير منهما يكون قابلا لتحمل جهد  
عظيم من غير انقطاع أكثر من الطرف الطويل  
ولنفرض أن كلاما من الطرفين يقع عليه قوى متعددة فيد لاعتق القوة الواحدة

فلتكن اسه و اسه و اسه الخ (شكل ٢) هي القوى المؤثرة في الجبل  
من احد طرفيه و بصه و بصه و بصه الخ هي القوى  
المؤثرة فيه من الطرف الاخر فيمكن ابدال قوى اسه و اسه و اسه  
الخ بقوة واحدة تكون محصلة لها وكذلك تبدل قوى بصه و بصه  
و بصه الخ بقوة واحدة تكون ايضا محصلة لها ثم نعين تلك القوة بموجب  
القوانين الاعتيادية المتعلقة بتركيب القوى فترسم كثيرا اضلاع تكون اضلاعه  
مساوية وموازية للمستقيبات الدالة على جملة القوى الاولى وكثيرا اضلاع  
اخر تكون اضلاعه مساوية وموازية للمستقيبات الدالة على جملة القوى  
الثانية ويكون مستقيما اس و بص الغالقان لكثيرى الاضلاع  
المذكورين دالين على المحصلتين ويلزم لاجل التوازن ان تكون المحصلتان  
متجهتين الى جهتين متضادتين على اتجاه جبل اب وأن يكونا  
متساويين



فإذا لم تكن الفتوتان متساويتين حصل التحرك في جهة كبراهما وتكون السرعة على نسبة منعكسة لجسم الحبل المعلق للتحرك وهكذا ( كما تقدم في الدرس الثاني )

\*( تطبيق ما تقدم على ضرب النواقيس ) \*

النواقيس التي تضرب في الكاؤس مشدودة بجبل أ ب الرأسى ( شكل ٣ ) فإذا كان الناقوس ضمنا بحيث لا يمكن لشخصين أو ثلاثة ضربهم مع السهولة بشدهم جميعا للحبل المذكور فإنه يربط في الطرف الأسفل

من جبل أ ب الأصلي جبال صغيرة كجبال أ م و أ ن و أ هـ و يقبض كل منهم على هذه الجبال ويشدونها كي يحدث للناقوس التحرك الموافق له ولاجل تحصيل المحصلة يكفي عمل كثير الاضلاع وهو

أ م س س الخ الذي تدل اضلاعه وهي أ م و م س و س س الخ مقداراً واتجاهاً على قوى أ م و أ ن و أ هـ الخ

وبمستقيم أ س بين نقطة أ ونهاية الضلع الأخير يغلط كثير الاضلاع للقوى الذي يكون فيه هذا المستقيم دالاً على المحصلة وبالجمله فيلزم في الصورة التي نحن بصدد ها أن تكون هذه المحصلة في اتجاه جبل أ ب الرأسى ويقف عادة ضاربو الناقوس المنقاربون في القوة على شكل دائرة ويكونون على بعد واحد من بعضهم بحيث يكون مركز هذه الدائرة في الوضع الرأسى لجبل أ ب وبهذا الوجه تمر محصلة قواهم ضرورة بمستقيم أ ب

\*( بيان الكبش ( أي الشامردان ) وهو الآلة المعدة لدق الخواير ) \*

ما ذكرناه في صورة ضرب النواقيس يجري أيضاً فيما إذا اريد أن يشد بجبال صغيرة الحبل الأصلي الذي يحرك الكبش المستعمل لدق الخواير وقد غلب على هذه الآلة اسم آلة الضرب لأنها تضرب كاقوس الكنيسة الضخم ولاجل الوقوف على حقيقة هذه الآلة يلزم معرفة خواص البكرات

ولم تسلك الى هنا الاعلى الجبال المشدودة من اطرافها فقط ولنفرض زيادة على ذلك انها تكون مشدودة من نقطة متوسطة فنقول

ليكن  $\overline{AS}$  و  $\overline{BS}$  (شكل ٤) هما القوتان الواقعتان على  $\overline{A}$  و  $\overline{B}$  اللذين هما طرفا حبل  $\overline{AB}$  و  $\overline{SZ}$  هي القوة الواقعة على نقطة  $\overline{S}$  المتوسطة فتكون هذه القوى الثلاثة متوازنة عند نقل  $\overline{BS}$  الى  $\overline{SZ}$  و  $\overline{AS}$  الى  $\overline{SZ}$  فيكون  $\overline{SZ}$  الذي هو وتر متوازي الاضلاع الحادث على ضلعي  $\overline{SZ}$

و  $\overline{SZ}$  مساويا ومقابلا لقوة  $\overline{SZ}$  على وجه الصحة والضبط ولنفرض أن قوة  $\overline{AS}$  (شكل ٥) الميمنة بمستقيم  $\overline{SZ}$  وقوة  $\overline{BS}$  الميمنة ايضا بمستقيم  $\overline{SZ}$  يكونان متساويتين

فاذن يكون متوازي الاضلاع وهو  $\overline{SZ}$  شكلا معيننا وتكون زاويتا  $\overline{SZ}$  و  $\overline{SZ}$  متساويتين بمعنى أن مستقيمي  $\overline{AS}$  و  $\overline{BS}$  يحدث عنهما مع انجاء محصلة  $\overline{SZ}$  زاوية واحدة

ولكن تكون قوة  $\overline{SZ}$  قريبة او بعيدة عن  $\overline{BS}$  اكثر من  $\overline{AS}$  على حسب كبر  $\overline{SZ}$  او صغره عن  $\overline{SZ}$  وذلك متعلق بصورة مثلثي  $\overline{SZ}$  و  $\overline{SZ}$  المتساويين

فاذا كان هنالك اربع قوى كهوى  $\overline{AS}$  و  $\overline{BS}$  و  $\overline{AS}$  و  $\overline{BS}$  (شكل ٦) واقعة على تقاطع  $\overline{S}$  و  $\overline{SZ}$  يلزم أن يكون التوازن حاصل حول كل من النقطتين المذكورتين وهلم جرا

فاذا كان حول نقطة  $\overline{S}$  مثلا قوتا  $\overline{AS}$  و  $\overline{BS}$  اللتان يلزم

أن تكون محصلهما متجهة على امتداد  $\overline{\text{ث ث}}$  ودالة على الشد الكلى  
 الحادث من هاتين المركبتين على حبل  $\overline{\text{ث ث}}$  الصغير في رسم متوازي  
 الاضلاع وهو  $\overline{\text{ث ص ز س}}$  الذي فيه  $\overline{\text{ث س}} = \overline{\text{أ س}}$  و  $\overline{\text{ث ص}}$   
 $= \overline{\text{ب ص}}$  يحدث أن  $\overline{\text{ش ز}}$  يساوي شد حبل  $\overline{\text{ب ث}}$   
 وكذلك نقطة  $\overline{\text{ث}}$  فانه اذا رسم متوازي اضلاع  $\overline{\text{ث ص ز ص}}$   
 الذي فيه ضلع  $\overline{\text{ث س}} = \overline{\text{أ س}}$  و  $\overline{\text{ث ص}} = \overline{\text{ب ص}}$   
 يحدث أن  $\overline{\text{ش ز}}$  يساوي شد الحبل ولاجل توازن  $\overline{\text{ث ث}}$  يلزم  
 أن يكون شدا  $\overline{\text{ش ز}}$  و  $\overline{\text{ش ز}}$  المتضادان منساويين

ولننبه هنا على ان تعيين شدود  $\overline{\text{أ ث}}$  و  $\overline{\text{ث ث}}$  و  $\overline{\text{ث أ}}$  الخ المتنوعة  
 لاعلاقة له بطول اجزاء  $\overline{\text{أ ب}}$  و  $\overline{\text{ب ث}}$  و  $\overline{\text{ث د}}$  الخ وانه عند  
 زيادة هذا الطول او نقصه تتغير حالة الشدود ما عدا توازنها فاذن يمكن  
 أن يفرض انعدام واحد منها او أكثر بدون أن ينعدم ذلك التوازن وبناء  
 على ذلك اذا كان هناك عدة قوى واقعة على نقط متنوعة من حبل واحد  
 فبايقا عليها كلها على نقطة واحدة منه بدون تغيير مقدارها واتجاهها  
 مع نقلها بالتوازي لنفسها وتخليصا من الحبل الماذ كور تكون متوازنة  
 فاذا كان هناك حبل مشدود بقوى واقعة على نقط مختلفة حدث عنه شكل  
 كثير الاضلاع ولهذا يسمى كثير الاضلاع الحبالى ويلزم أن تكون القوى  
 المؤثرة حول كل نقطة متوازنة مع الشدود الحادثة من اضلاع كثير الاضلاع  
 الذى تكون هذه النقطة رأسه

وشماثلة عديدة تتعلق بتوازن كثير الاضلاع الحبالى وذلك اذا علمنا انشالا  
 فى حبل لا يكون طرفاه على رأسى واحد وسيظهر لك من القناطر المعقدة التى  
 ستكلم عليها فى آخر هذا الدرس مثال اخر فى شأن الاشكال الكثيرة الاضلاع

الحبالية وفي شأن فائدة تقويتها

ولتكن  $\text{اصه}$  و  $\text{بـز}$  و  $\text{شـق}$  و  $\text{دوق}$  (شكل ٧) قوى  
 رأسية فتكون محصلتها وهي  $\text{رـر}$  رأسية ايضا مساوية لمجموعها  
 ولا مانع أن تكون هذه المحصلة معينة بدون واسطة بالدعوى النظرية المتعلقة  
 بالقوى المتوازية ولاجل حصول التوازن في كثير الاضلاع الحبالية يلزم  
 أن قوة  $\text{رـر}$  الدالة على مجموع قوى  $\text{اصه}$  و  $\text{بـز}$  و  $\text{شـق}$  و  $\text{دوق}$   
 توازن شد طرفي الحبل اللذين هما  $\text{آ}$  و  $\text{د}$  وذلك يقتضي أولا أن  
 اتجاهي قوتي  $\text{اصه}$  و  $\text{دع}$  المتطرفين يتقاطعان في نقطة و على  $\text{رـر}$   
 التي هي محصلة القوى المتوازية وثانيا انه اذا اخذنا  $\text{وسـه} = \text{اصه}$   
 و  $\text{ورع} = \text{دع}$  على مستقيمي  $\text{واصه}$  و  $\text{ودع}$  فان وزن متوازي  
 الاضلاع الحادث على هذين الضلعين يكون مساويا  $\text{رـر}$  مساواة صحيحة  
 ويكون رأسيا كسائر القوى المركبة

واما الشدود الحاصلة من اجزاء حبل  $\text{ابـشـد}$  المتنوعة فانه يسهل  
 دائما تعيينها باعتبار أن كل قوة موازية مثل  $\text{اصه}$  و  $\text{بـز}$  الخ كوتر  
 متوازي الاضلاع الذي ضلعاه  $\text{بـث}$  و  $\text{شـد}$  الخ فتكون اضلاع هذا الشكل  
 دالة على شدود الحبال الصغيرة وبهذا الوجه يعين شد طرفي كل حبل صغير  
 كحبال  $\text{ابـ}$  و  $\text{بـث}$  و  $\text{شـد}$  فاذا كان التوازن باقيا على حاله  
 لزم ان يكون هذا الشد باقيا على حاله ايضا في طرفي كل حبل مغير لان الحبل  
 بدون ذلك يتقدم الى جهة الشد الاكبر كما لو اترفيه مباشرة قوتان  
 غير متساويتين

ولتسكلم هنا على تناقل الحبال مبتدين بالحبل المثبت من طرفيه والملتص  
 معلقا فنقول

يمكن أن نعتبر ان هذا الحبل مركب من عدد غير محدد من المستقيمات الصغيرة

المساوية المائلة قليلا على بعضها بحيث يحدث عنها المنحنى الذي يتبعه الجبل  
 المذكور ليكون بذلك متوازنا وساكا فاذا اعتبرنا جبلين اى ضلعين من هذه  
 الاضلاع الصغيرة المتواليّة كضلعى أ ب و ب ث (شكل ٨) كانت  
 محصلة ثقل كل منهما قوة مارة بمتصفهما وهما م و ن فيحدث  
 حيثند عدة قوى ك قوى م و ن و و متوازية  
 ومتساوية وموضوعة على وجه بحيث تكون تقاطعها وهى م و ن  
 و و على بعد واحد من بعضها

وتكون محصلة تلك القوى مساوية لمجموعها ومتجهة اتجاهها رأسيا  
 ولتكن ر ر رمزا الى هذه المحصلة فيلزم بحسب ما تقدم ان ف  
 و غ اللذين هما الضلعان الاخيران من كثير الاضلاع الجبلى يتقاطعان  
 بواسطة امتدادهما على محصلة ر ر المذكورة

وبناء على ذلك يتقاطع تمامان ف و غ فى تقاطع ف  
 و غ دائما على اتجاه محصلة ثقل الجبل المثلّى ونفسه معلقا وهى محصلة  
 مارة بمركز ثقل الجبل المذكور

(وتستعمل هذه الخاصية عند علماء الرياضة فى تحصيل معادلة تفاضلية  
 تتعلق بالمنحنى الحادث من الجبل المثلّى ونفسه لتساقله الا انه ليس فى القواعد  
 المستعملة ما يكتفى فى تحصيل الكميات المجهولة الموجودة فى المعادلة التى يتعين  
 بها صورة ذلك المنحنى بكيفية صحيحة واما ارباب الفنون فيمكنهم أن يحسبوا  
 هذا المنحنى ويعينوا جميع اجزائه بواسطة الاقيسة المتكررة ويصلوا بالعمل  
 على وجه سهل الى تحصيل الحواصل التى لا يمكن أن يتوصل اليها  
 بعلم التحليلات)

وقد يكون المنحنى الحادث من الجبل المثلثى بواسطة تماقله باقيا على حالة

واحدة سواء كان هذا المصنعي جبلا لنا متواصلا او كان سلسلة كبيرة كانت او صغيرة مركبة من كلبات صغيرة فيحدث من هذه السلسلة شكل كثير الاضلاع مؤلف من عدد غير محدود من الاضلاع الصغيرة جدا وذلك هو شرح هذه المسئلة وقد اطلق اسم السلسلة على المصنعي الذي تتبعه تلك السلسلة او حبل على غاية من اللين مثبت من طرفيه ومخلى وقسمه لتأثير التناقل ويكثر استعمال هذه السلسلة في فنون الميكانيكا وغيرها من الفنون المستظرفة

وتكون القن او السلاسل المشار اليها برمز  $\overline{AB}$  (شكل ١٤) التي بها تتوازن السفن مع قوى الهواء والتيار على صورة سلاسل كثيرة الاثخناء او قليلته على حسب شدتها ومن هذا القبيل حبال السحب اى اللبانات التي يشدها الرجال او الخيول بواسطة حبال صغيرة مربوطة في نقط مختلفة من الحبال الاصلية ثم ان شد الحبال الكبيرة والصغيرة والنقل وانعدام قوى الجر كل ذلك مسائل مهمة تحل بواسطة القواعد المذكورة في هذا الدرس ولتزداد استعمال تلك السلاسل نوع اوضح فيما يتعلق بادوات السفن فنقول

يلزم أن تنسب الى السلسلة اولى كثير الاضلاع الحبالى توازن الحواشات وهى الحبال الممدودة من احدى شاطئى الانهر الى الشاطئ الاخر وهى مربوطة في نقط مرتفعة ارتفاعا كافيا بحيث تمر من قممها السفينة ذات الصاري ويمكن أن يجرى على الحواش (بواسطة البكر) الطرف الاعلى من الحبل الذي يكون طرفه الاسفل ممسكا للمركب وهذا الحبل ايا ما كان وضعه يقع عليه شدة ناشئ عن التأثير الحادث في السفينة من التيار وقد يكون هذا الشد متوازنا مع شدين آخرين حادثين من جزءى الحواش الموضوعين على يمين الحبل الممسك للمركب وعلى شماله ولاجل معرفة القوة

التي تكون لذلك الحبل او الحواشي يلزم عمل حسابات الشدود الكبيرة الواقعة عليه وكيفية ذلك تعلم من خواص السلسلة وكثير الاضلاع الجبالي المتقدمين

واهم تطبيقات السلسلة والخيال على العموم هو ما ينسب للقناطر المعلقة (شكل ١٥) غير انه يلزم قبل تعريفها أن نذكر الخواص الهندسية المتعلقة بالسلسلة لانها كثيرة الفوائد فنقول

اذا كان  $\overline{ا ب}$  اللذان هما طرفا سلسلة  $\overline{ا هـ ث ف ب}$  (شكل ٩) موضوعين على ارتفاع واحد كانت السلسلة المذكورة التي هي على صورة النخني متماثلة بالنسبة الى رأس  $\overline{د ث}$  الممتد من نقطة  $\overline{د}$  التي هي منتصف  $\overline{ا ب}$  وحينئذ فلا داعي لكون جزء الشمال وهو  $\overline{ا هـ ث}$  يخالف في الصورة والمقدار جزء الجين وهو

$\overline{ب ف ث}$

وقد يحدث من الاكليل وخيوط الذهب والحريروا القياطين والاهدا ب والازهار المعلقة في قط ليست على رأسي واحد سلاسل يتنوع تماثلها بتنوع الانحناءات والاضلاع وظرافة هذا التنوع من اسرار الفن الذي الغرض الاصلى منه زخرفة المنازل والعمارات العامة

ولا بد للنقاشين والمصوريين من معرفة الانحناء الذي يكون للسلسلة حتى يجعلوا الاشياء المزخرفة على شكل محيطات حقيقية

فاذا اعتبرنا أن نقطة  $\overline{هـ}$  تكون ثابتة (شكل ٩) وحذفنا  $\overline{ا هـ}$  فان الجزء الباقي وهو  $\overline{هـ ث ب}$  لا يكون خارجا عن التوازن فاذا مددنا حينئذ مستقيم  $\overline{هـ ف}$  الافقي واخذنا نقطة  $\overline{ف}$  عوضا عن نقطة  $\overline{ب}$  وجعلناها نقطة ثانية ثابتة فان جزء  $\overline{هـ ث}$  يكون متماثلا

مع  $\overline{ب ف ث}$

فإذا لم يكن طرفا السلسلة (التي هي على صورة المنحنى) وهما  $\overline{ه}$  و  $\overline{ب}$  موضوعين في ارتفاع واحد فانا إذا مددنا من طرف  $\overline{ه}$  الذي هو دون الطرف الآخر في ارتفاع خط  $\overline{هف}$  الافقي كان جزء السلسلة وهو  $\overline{هث}$  الموضوع تحت الافقي المذكور متماثلا بالنسبة لعمود  $\overline{شغ}$  النازل من نقطة  $\overline{غ}$  التي هي منتصف  $\overline{هف}$  وكانت نقطة  $\overline{ث}$  مخفضة عن جميع تقط السلسلة المذكورة

وحيث ان منحنى  $\overline{هث}$  متماثل بالنسبة لرأسى  $\overline{شغ}$  فان مركز ثقل هذا المنحنى يكون على الرأسى المذكور ولتد مستقي  $\overline{هو}$  و  $\overline{فو}$  مماسين للمنحنى المذكور في تقطى  $\overline{ه}$  و  $\overline{ف}$  ثم نأخذ جزء  $\overline{ور}$  الرأسى ونجعلها دالا على ثقل ذلك المنحنى فتكون اضلاع متوازي الاضلاع وهو  $\overline{ورر}$  دالا على الشدود والحاصل للعبل في تقطى  $\overline{ه}$  و  $\overline{ف}$

وليكن المطلوب الآن الشد الحاصل في نقطة  $\overline{ث}$  التي هي اخفض تقط المنحنى فاذا مددنا  $\overline{شو}$  و  $\overline{وب}$  (شكل ١٠) مماسين للمنحنى في تقطى  $\overline{ث}$  و  $\overline{ب}$  فان مركز ثقل منحنى  $\overline{ثب}$  يكون على رأسى  $\overline{ورغ}$  المار بنقطة  $\overline{و}$  واذا رسمنا على  $\overline{ورغ}$  و  $\overline{وث}$  و  $\overline{وب}$

المعتدة متوازي الاضلاع وهو  $\overline{ورخض}$  فنجد دل  $\overline{ورح}$  على ثقل قوس  $\overline{ثب}$  كان  $\overline{ورض}$  دالا على الشد الحاصل في نقطة  $\overline{ث}$

ونخط  $\overline{ورخ}$  دالا على الشد الحاصل من المنحنى في نقطة  $\overline{ب}$  لكن يرى في متوازي الاضلاع المذكور أن  $\overline{ورخ} = \overline{ورض}$  وحيث ان

$\overline{ورخض}$  مثلث قائم الزاوية فان  $\overline{ورخ}$  يكون دائما اطول من  $\overline{ورض}$



يعني أن الشد الحاصل من المنحنى في نقطة ب يكون دائما اقوى من الشد الحاصل المنحنى في نقطة ث

وكما صعد الانسان الى اعلى حدث من مماس ب وخ مع الخط الرأسى زاوية حادة جدا وبقي طول وض على حاله وازداد طول وح كقل المنحنى واخذ ضلع وخ في الازدياد فعلى ذلك يكون شد المنحنى عظيما جدا في نقطة الكثيرة الارتفاع

فاذا فرضنا حيقث أن المنحنى له قوة واحدة في جميع طوله فان اول ما يحصل الاقطاع يكون في النقطة الاكتر ارتفاعا من غيرها فلو فرضنا أن المنحنى يقاوم في هذه النقطة لكائن مقاومته في النقط المتوسطة بالطريق الاولى

فاذا امتد في مثلث ح وض (شكل ١٠) القائم الزاوية ضلع وح الذي هو ضلع زاوية و القائمة وبقي الضلع الآخر هو وض على حاله

فان الضلع الاكبر هو ح ض يقرب شيئا فشيئا من مساواة ح و ونفرض الا أن الشكل الذي يدل عليه منحنى ث ب (شكل ١١) و (شكل ١٢) يزيد مدة اواره او ينقص دفعة واحدة مع التناسب في جميع اجزائه فنقول ان التوازن يكون ثابتا لا يتغير اصلا وان صورة المنحنى بهذا السبب لا تتغير ايضا

وذلك لانه في المنحنى الجدي اذا كانت نقطة م متلافي وضع يشبه وضع نقطة م في المنحنى الاول حدث من مماس م و مع رأسى د شو الزاوية التي تحدث من مماس م و مع رأسى د شو وحيث ان طول المنحنيين مناسب لبعدي ب د و س د فان نسبة ثقل منحنى وح الى ثقل منحنى وح تكون مساوية لنسبة شد وخ الى شد وخ الحاصلين المنحنيين في تقطعي م و م

فعلى ذلك يكون الشدان متزايدين من جميع الجهات في نسبة واحدة مع نقل  
الحبل ويكون وضعهما في هذه الحالة مشابها لوضعهما في الحالة الاولى فيكونان  
متوازنين عند تأثيرهما في منح صورة واحدة  
ولنذكر قاعدة اصلية وهي ان الشدين الحاصلين للتحنيين المتشابهين في نقطتين  
متشابهتي الوضع تكون نسبتها كسبة البعدين المتشابهين او المتقابلين  
في هذين التحنيين

فبناء على ذلك اذا قابلنا بين تحنيين متشابهي الشكل وكان احدهما اصغر من  
الاخر مرتين واقل منه مرتين او اصغر منه ثلاث مرات واقل منه ثلاث  
مرات او اصغر منه اربع مرات واقل منه اربع مرات فان الشد الحاصل  
لهذين التحنيين في نقطتين متشابهتي الوضع يكون واحدا

ولتقابل الا ان بين الشدين الحاصلين لتحنيين غير متشابهين فلا يفرض  
الامخنيات قليلا الانحناء جدا لاجل الاختصار في البحث والاقتصار  
في الاشغال على هذه الصورة العامة النفع في الفنون ونعتبر ان هذه المخنيات  
لها ثقل واحد في طول واحد ونفرض ان النقط الثابتة تكون دائما على بعد واحد  
من بعضها

وصى كان لنحنى  $\overline{أش}$  مثلا (شكل ١٣) انحناء قليل جدا امكن  
بدون خطأ كبير ان نعتبر ان مركز ثقل كل جزء يجزء  $\overline{ش ب}$  من هذا النحنى  
يكون موجودا على رأسي  $\overline{هـ ف}$  الموضوع على بعد واحد من طرفي  $\overline{ش}$

و  $\overline{ب}$  فاذا اتينا من نقطة  $\overline{غ}$  التي هي المركز المذكور رأسي  $\overline{هـ غ ف}$   
الى مستقيم  $\overline{اب}$  حدث معنا ان  $\overline{د ف} = \overline{ف ب}$  واذا ازلنا  
من نقطة  $\overline{ب}$  عمود  $\overline{ب ب}$  على  $\overline{ش هـ}$  الممتد حدث معنا ان  
 $\overline{ش هـ} = \overline{هـ ب}$

ولنجعل الان نقطتين في النحنى كنقطتي  $\overline{ش}$  و  $\overline{ب}$  ثابتتين ونمدهما سى  
 $\overline{ش هـ}$  و  $\overline{هـ ب}$  المتطرفين فيكونان ضلعين لتوازي الاضلاع وهو

ش هـ ف الذي وزه هـ ف ويكون هذا الورد الا على نقل قوس  
ش ب وضلعاه وهما هـ ب و هـ ث دالين على الشدين الحاصلين  
للجبل في قطعتي ب و ث

فاذا كان سهم ش د صغيرا جدا بالنسبة لطول آ ب فلا فرق بين  
ش ب و هـ ب وبين ف ب و ش هـ فاذن يكون ش د الجبل  
او السلسلة الحادث عنها المنحني واحدا تقريبا في سائر امتداده غير انه لاجل ابقاء  
الشدة على حالة واحدة في جميع قطعه يلزم أن يكون سهم ش د معدوما

فاذا اعتبرنا الا أن نقل المنحني ثابت ومدلول عليه بخط و ر فان الشد  
الحاصل للجبل في قطعة ب يكون مدلولاً عليه بخط و خ فتمت لاجل

ذلك خ ر اقبيا الى و خ الممتد الذي هو امتداد عماس ب هـ

ولكن يوجد معنا مثلثا ب هـ و و خ ر المتشابهان اللذان يوجد

فيهما ب هـ : ب هـ :: و خ : و ر فاذن يكون

$$\text{و خ} = \frac{\text{و ر} \times \text{ب هـ}}{\text{ب هـ}}$$

وحبان ب هـ ب هـ يساوي ش د و ب هـ يختلف قليلا

عن  $\frac{1}{2}$  ب د فانه اذا كان ب هـ = ش د صغيرا جدا  
حدث على وجه تقريبي

$$\text{و خ} = \frac{\text{و ر} \times \text{ش د}}{\text{ش د}}$$

فاذا لم يتغير حينئذ بعد طرفي آ و ب ونقل الجبل الذي يدل عليه و ر

ثان ش د و خ يصير على نسبة منعكسة من سهم ش د فاذن يلزم أن يكون

ش د و خ الحاصل في قطعة ب او في قطعة ا عظيم جدا ليكون ش د

صغيرا جدا او معدوما بالكلية وبناء على ذلك اذا كان هناك جبل مشدود شدا  
اقتيا من طرفيه فانه يلزم أن يكون مشدودا بقوتين عظيمتين جدا حتى يكون  
معدودا بالضبط متدا مستقيما  
وقد حق لنا أن نبرهن تفصيلا على هذه الحالة نظرا لمن يقول بصعوبتها فنقول  
اذا كان هناك جبل خفيف جدا وليس هناك ما يعارضه واريد شدة شدا قويا  
من نقطتين موضوعتين على ارتفاع واحد فانه يتعذر شدة من النقطة التي  
يكون فيها مستقيما بالكلية

\*(بيان تطبيق ما تقدم على ادوات السفن)\*

ثم ان استعمال الخواص التي ذكرناها في شأن المنحنى لا يخلو عن فائدة عظيمة  
وبه تظهر الجهود التي تحملها الحبال في كثير من الصور المهمة والمراد  
بادوات السفن مجموع الحبال المستعملة في اسناد صواري السفينة وقرياتها  
وفي تحريكها

فصواري شد و هف و غس الزاسية (شكل ١٥)  
مسكة من جزءها الاسفل بعدة من الشواحي وبجزءها الاعلى عقدة جارية  
مصنوعة من حبل عظيم يسمى عندهم بالميدة او الجاخوص وهو الذي يستند  
عليه الصاري وهذه العقدة تنزل من المؤخر الى المقدم وتثبت في نقطة من  
السفينة ومتى ارتفع المؤخر وانخفض المقدم عند الاضطراب والتحرك فان الميدة  
تكون مقاومة وتمنع الصاري عن الكسر عند سقوطه الى جهة الخلف  
وتستعمل الميدة زيادة على ذلك لتعادل ما ينشأ عن الحلية او الاطراف من  
المجهودات العظيمة والحلية او الاطراف هي حبال ممتنية من منتصفها  
ومربوطة فيه بحيث يحدث عنها فتحة عريضة تمر بها رأس الصاري فيسكون  
من طرفي كل حبل حليتان او طرفان يكونان ثابتين على جانب واحد فلذا تراه  
يضعون بالتعاقب للصاري الواحد حليتين في جانب السفينة الايمن وآخرين  
في الجانب الآخر

وتكون الاطراف شاذة معالرأس الصارى عند الهبوط من منتصف السفينة الى جانبيها ومن الامام الى الخلف

فاذا كانت الميدات والاطراف مائلة بحيث لا يحدث عنها خطوط مستقيمة مهما كان الشد الحاصل لها فانه يحدث عنها منحنيات والمنحنيات الحادثة عن الاطراف لها انحناء ظاهر قليلا لان هذه الجبال تقرب من الاتجاه الراسى قريبا كافيا بخلاف المنحنيات الحادثة عن الميدات والجواغيص البعيدة كثيرا عن الاتجاه الراسى المذكور فان انحناءها يكون ظاهرا بالكلية ثم ان المنحنى الحادث عن الميدة او الحلية يتغير انحناءه في كل دفعة جديدة تعرض له من الريح والامواج

فاذا دفع الهواء السفينة من الخلف الى الامام تقص انحناء المنحنى الحادث عن الاطراف لاجل ازدياد انحناء المنحنى الحادث عن الميدات واذا هبت الريح من جهة تقص انحناء المنحنيات الحادثة عن الاطراف الموجودة في هذه الجهة لاجل ازدياد انحناء المنحنيات الحادثة عن الاطراف الموجودة في الجهة التى تقابلها

وقد يـكون اعتبار الاطوال التى تقبلها المنحنيات الحادثة عن الاطراف والميدات اما بمقتضى المادّة التى تتركب منها هذه الجبال او بمقتضى جنس المنحنيات الحادثة عنها مهما جدّا في ادوات السفن وفن الملاحة ويمكن أن نستعمل عوضا عن الجبال المتحدّة السمك في جميع طولها الجبال التى ينقص سمكها من الجهة السفلى بحيث لا يكون لها في تقطعها المنخفضة الا القوّة اللازمة لمقاومة الشد الاصطناعى الذى يحدث في هذا الجزء لكل طرف من الاطراف

ويعسر في هذه الصورة الاخيرة صناعة الجبال الا انه يترتب عليها وفر عظيم وبها تصير ادوات السفن خفيفة جدّا وهناك ايضا كثير من التحسينات ليس هذا محلها لان ما ذكرناه يكفى في بيان الكيفية التى بها يتيسر في كل وقت حساب شد الجبال واتجاهها الانفع

## \*( بيان القناطر المعلقة )\*

ولنوضح الآن كيفية عمل هذه القناطر وتوازنها فتقول  
 لنفرض أن جبلا أو سلسلة يمتد بين نقطتي أ و ب وأن جبلا أو سلاسل  
 أخرى رأسية يقال لها حفاظية مثل م و د و و و ح الخ  
 تربط في هذا الجبل من نقط مختلفة منه على بعد واحد من بعضها ويوضع  
 جبلان متساويان مثل جبل أم و ح ..... ب بجانب بعضهما  
 ويكونان على ارتفاع واحد ويوصل بعوارض انقبية أطراف تلك الجبال  
 الحفاظية الموضوعة بهذا بعضهما ثم يوضع على هذه العوارض المتوازية سقف  
 فيكون ذلك هو القنطرة المعلقة

ولاجل تعيين شروط توازن القنطرة المذكورة يلزم أن نعتبر أن كل جبل  
 مثل أم و ..... ب يحمل جزءاً من القنطرة ثقله واحد في خلال  
 الجبال الحفاظية بخلاف ثقل تلك الجبال فإنه يزداد كلما قربنا من طرفي  
 الجبل

وحيث أن ثقل الجبال الحفاظية قليل بالنسبة لثقل القنطرة الكلي فلا نزاع  
 أن الجبل الثقيل يحمل انقلا متساوية في مسافات انقبية متساوية وحيث أن  
 يكون النصف الحادث من الجبل المذكور قطعاً مكافئاً وقد برهن على ذلك  
 في كتب أخرى

وعلى ذلك فيمكن أن نحصل في أسرع وقت وضع مركز ثقل جبل أم و ب  
 ونقطة ط التي يتقاطع فيها عماسا ذلك الجبل لأنه في القطع المكافئ الذي

$$\text{سهمه} = \text{م} \text{ يكون } = \text{م} = \text{ط}$$

فإذا رسمنا متوازي اضلاع مثل ط أم - على أ ط و ب ط اللذين هما  
 عماسا سلسلة التعليق المعتبرة كقطع مكافئ حدث عن ذلك أن نسبة  
 ثقل السلسلة إلى الشد الحاصل لها في نقطة ط تكون كنسبة م ط

الى  $\overline{ا ط}$  فاذا مددنا  $\overline{ا ب}$  موازيا الى  $\overline{ا ب}$  حدث هذا التناسب وهو  
 $\overline{م ط} : \overline{ا ط} :: \overline{ر ط} : \overline{ا ط} :: \overline{ء م} : \overline{ا ط} :: \overline{م م} : \overline{ا ط}$   
 وبالجمله فمقي كان سهم  $\overline{م م}$  صغيرا بالنسبة لطول  $\overline{ا م}$  امكن  
 أن نعتبر أن  $\overline{ر ط}$  و  $\overline{ا ب}$  متساويان فاذن تكون في هذه الحالة نسبة  
 نقل السلسلة الى الشذ الحاصل لها في نقطة  $\overline{آ}$  كنسبة سهم السلسلة  
 ثمانى مرات الى بعد  $\overline{ا ب}$  الحاصلين  $\overline{آ}$  و  $\overline{ب}$  اللتين هما نقطتا  
 الارتكاز

ويبقى لنا أن ننبه على أن هذا المقدار ليس الا تقريبا ومقي تعذر اختلاط  
 طولى  $\overline{ا ط}$  و  $\overline{ا م}$  ببعضهما بدون خطاين لازم اخذ نسبة  $\overline{ا ط}$   
 :  $\overline{ء م}$  عوضا عن  $\overline{ا ب} : \overline{م م}$

ويسهل علينا حساب قوة الحبال الحفاظية الرأسية بتقسيم نقل سطح القنطرة  
 على عدد تلك الحبال ويلزم أن يكون سمك الحبال المذكورة مناسبا لعدد  
 الكيلوغرامات الذي يوجد في خارج هذه القسمة  
 ثم ان القناطر المعلقة الكبيرة المشيدة لعبور الانهر العظيمة يصنعها مهندساوا  
 القناطر والجسوراوكبار المتعهدين واما القناطر الصغيرة الوفرية (اى القليلة  
 المصاريف) المعدة لعبور الامطار والسيول والمجارى الصغيرة ومشى الناس  
 وسير النقالات الصغيرة ونحو ذلك والمستعملة ايضا وصلة بين عمارتى معمل كبير  
 واحداثها تصنع بدون صعوبة ولا بد منها فى سائر فروع الصناعة

ويستعمل في هذه القناطر غالبا سالوك من حديد بدلا عن السلاسل وتكون  
 هذه السالوك مجموعة على صورة حزمة يحيط بها سلك على هيئة برتمة حلزونية  
 كالانوار المعدنية التى فى آلات الموسيقى (واقل قوة تقدر للسلك هو أن يعمل  
 ٤٠ كيلو غراما فى كل مليتر مربع من القطاع بدون أن ينقطع فلا يحمل  
 فى كل مليتر الا ٢٠ كيلو غراما) وقد تكون قضبان الحديد مستعملة  
 كالحبال الحفاظية فتكون العوارض الصغيرة التى عليها الواح بسيطة طوامة

كافية في تمام القنطرة وفي هذه العمارات وفر عظيم على ما فيها من الصلابة عند تناسب شكلها وابعادها بموجب ما ذكرناه في هذا الدرس من القواعد المتعلقة بتوازن الجبال

ثم ان المهندس مغوين دنوناي وهو اول من شيد القناطر المعلقة في مملكة فرانسا بساولة من حديد قد ابدى في هذا المعنى مثالا كثير الجدوى وهوائه صنع في معمله قنطرة لعبور المشاة من الناس طولها ثمانية عشر مترا تقريبا وعرضها ستة دستمرات ولم تبلغ مصاريقها الا خمسين فرنكا والى كذا في المبادئ كثيرا الفائدة لمن اطلع عليه ممن يرغب في عمل القناطر المعلقة الصغيرة ومن اراد التثبت بالمهم من اشغال هذا النوع فعليه بمطالعة رسالات الميرالاي دوفور التي تحليلاتها مما اشتملت عليه رحلاتنا الى جزائر ابريطانيا الكبرى وبالاطلاع على كتاب للمهندس ناوييه احدا اعضاء جمعية العلماء وهو كتاب جليل يشتمل على دقائق تلك الاشغال وبالوقوف على الجزء الثالث من رحلاتنا المذكورة الذي تكلمنا فيه على القوة التجارية وينافيه تخطيط القناطر الكبيرة المعلقة المصنوعة في انكلترا والقبائل الفرنسية وذكرنا فيه مستوياتها

وحيث انتهى الكلام على الجبال الواقع عليها تأثير قوى حينما اتفق وكذلك تأثير التناقل تكلم الآن على الجبال التي تطبق على سطح الاجسام الصلبة فنقول اذا كان الجبل مطبقا على سطح ومشدودا من طرفيه فانه بالضرورة يتغير وضعه بقدر ما تحرك كل قوة الى جهة اتجاهاه الحقيقي ويقدر ما يأخذه ذلك الجبل من الوضع الذي يشغل فيه طولا عظيما على السطح ولا يمكن حصول التوازن في ذلك الا في الوضع الحقيقي الذي يشغل فيه الجبل المذكور على السطح وضع اقصر خط يمكن مده بين نقطتين حينما اتفق من قطعتاس الجبل بالسطح فيكون حينئذ للخطوط القصيرة التي يمكن رسمها على السطوح ارتباط ضروري بوضع توازن الجبال المطبقة على السطوح والمشدودة من اطرافها (والخاصية الهندسية لهذه المنحنيات وهي الجبال المذكورة هي انه اذا رسمنا



من كل نقطة من نقطها مستويا ملاصقا لها يلزم أن يكون هذا المستوى عموديا على السطح الذي يكون المنحنى المذكور مرسوما عليه وبناء على ذلك اذا دقت عدة واتاد في نقط مختلفة من المنحنى عموديا على سطح  $r$  مع ملاحظة اتجاه المنحنى بحيث يحدث من الاشعة البصرية مستوى يمر بكل من عماس المنحنى والوتر العمودي على النقطة المعبرة  $ص$  مكان المستوى الحادث من الاشعة البصرية المذكورة ملاصقا للمنحنى الذي يظهر انه لا انحناء له اصلا في تلك النقطة وهذه الخاصية يمكن استعمالها على وجه تقريبي في اقصر منحن يمكن رسمه على السطح بالابتداء من نقطة معلومة في اتجاه معلوم

واذا كان الحبل مشنبا على سطح وكان مؤثرا على كل من طرفيه قوة لازم أن تكون هاتان القوتان متساويتين حتى يحصل التوازن فان لم يكونا كذلك فان الحبل يتحرك في جهة كبراهما كأنه لم يكن هناك الا قوة واحدة مؤثرة في تلك الجهة وهذه القوة ليست الا فاضل القوتين الاصليتين

ويكثر في الغنون استعمال الحبال المشدودة على السطوح فاذا اراد صناع السفن أن يجعلوا السطح اضلاع السفينة و سطح حوافها انحناء تاما متواصلا فانهم يشدونها على الجهة الطويلة حبالا ويجعلون لها اتجاها منتظما جدا في جهة طول الحوا في المذكورة ثم يرفعون بالتوالي الاجزاء البارزة كثيرا من قطع الخشب الموجودة بين المسامير المختلفة التي يثبت بها الحبل على السطح فيكون لهذا الحبل المشدود من طرفيه اتجاه وانحناء اقصر خط يمكن رسمه على سطح السفينة بين المسامير المتواليه

وهناك سطوح يمكن احاطتها احاطة تامة بحبل طرفاه منضممان الى بعضهما ومتصلان اتصالا تاما بواسطة عقدة او غيرها ولا يصل هذا الحبل الى الوضع الذي يكون فيه متوازنا الا اذا كان تابعيا بالضبط لاتجاه اقصر خط يمكن مده من النقطة التي يوجد فيها العقدة وذلك يكون عند الدوران حول الجسم لاجل الوصول الى العقدة المذكورة

ويوجد في ملابس الرجال والنساء ما يشبه تلك الحبال المطبقة على السطوح

وذلك كالقوايش والاحزمة فانها اقصر خطوط يمكن رسمها على سطح الجسم مباشرة ومستورا بالملابس فاذا كان وضع الحزام مرتفعاً فانه يكاد أن يخفى وضواً كان وضعه مخفضاً فانه يكاد أن يرتفع

وهناك عدة اشياء من زينة النساء والرجال متخذة من خيوط كبيرة او صغيرة ممتدة على سطح الرأس كالسلاسل والقياطين المجدولة مع الشعر في العصابات اليونانية والرومانية وكتيجان آسيا والقياطين المرسلة من الاكاف الى الاوراك وسيور النعال ونحو ذلك

وينبغي أن تكون الاربطة والاساور والاطواق والاقراط شبيهة بالسلاسل الموضوعة على سطوح متنوعة وبخطوط التركيب التي تحيط بسطح السوق والاذرعة والاصابع والرقبة في الاتجاهات القصيرة من الاعضاء

وسياً في لك عند الكلام على قعر البكرات أن الحبال تكون موضوعة في حلق دواليب البكرات المذكورة حسناً يقتضيه اقصر خط يمكن رسمه في هذا الحلق

ويؤخذ من جز العربات بالخيول تطبيقات مفيدة متنوعة جداً تتعلق باختلاط الخطوط القصيرة التي يمكن رسمها على سطح جسم هذه الحيوانات وليست المزانق والقشاطات والالحة وغيرها من عدد الخيول خارجة عن القاعدة المقررة في شأن توازن الحبال المطبقة على السطوح

وها هنا انتهى الكلام على الحبل من حيث تطبيقه على سطح واحد وشده من طرفيه فقط ولنفرض الآن انه يكون مشدوداً زيادة على ذلك من نقطة متوسطة فتوجد شروط التوازن في هذه النقطة اذا فرضنا ان القوتين اللتين تشدان الحبل من طرفيه تكونان منقولتين على اتجاه الحبل المذكور الى النقطة التي تكون القوة المتوسطة مؤثرة فيها ويلزم أن تكون هذه القوى الثلاثة متجهة ومتناسبة معاً بحيث تكون متوازنة في النقطة المذكورة كما لو كان الحبل لا ينسب لسطح تام من السطوح

ثم ان القواعد المذكورة في شأن الاشكال الكثيرة الاضلاع الحبابية من حيث تساوى الشدود في كل نقطة متوسطة واقع عليها تأثير قوة خاصة هي عين

القواعد المطبقة على الاشكال الكثيرة الاضلاع الخيالية التي تكون فيها اجزاء  
الحبال منتبئية على سطح ما ويلزم دائماً أن تكون الشدود الحاصلة في جزء من  
الحبل اعني على عین القوة المتوسطة وشمالها متوازنة مع هذه القوة وأن تكون  
الشدود الحاصلة في كل جزء من الحبل بين قوتين متوسطتين متساوية  
ومتضادة الاتجاه

وفي عدد خيول العربات التي اسلفنا ذكرها امثلة متنوعة تتعلق بالاشكال  
الكثيرة الاضلاع الخيالية

وذلك لانه ليس الغرض من شرط توازن القوى وتناسبها في تلك الاشكال  
محجز الرضبة اذ من البديهي ان صلابة كل جزء من هذه العدد تكون مناسبة  
لما يبذل من الجهود التي يلزم أن الجزء المذكور يحملها وان الاجزاء  
المتنوعة من العدد المذكورة تكون مفصلة على وجه بحيث تكون  
متوازنة مع وجود تأثير التناقل وقوى الجزر والاعتراض تلك العدد بالضرورة  
وصار الجزر ديناً

وبتطبيق الهندسة والميكانيكا على تناسب عدد خيول العربات وتفصيلها  
لا سيما في الفنون الحربية يتوصل الى جعل ثقل هذه العدد في النهاية الصغرى  
وجعل صورتها موائمة لتطبيق قوة الخيول والانتكايز والنسابة هم اول  
من عرف ذلك وعاد على خيولهم وعرباتهم النقلة بالمنفعة العظيمة وقد بقي  
علينا امور كثيرة يحتاج اليها في هذا الموضوع لا سيما في عدد خيول العربات  
المعدة لنقل لوازم الزراعة والتجارة فهو غرض مهم يلزم حث الصنائعية  
وتحريضهم على الاعتناء به والالتفات اليه

فاذا استعملنا عوضاً عن الحبال المعتبرة كالمخطوط الهندسية حبالاً مجتمها  
معلوم ولها صورة خاصة كالقوايش والسيور ونحو ذلك فانه يلزم أن تكون  
على السطوح التي تستند هي عليها والاعتراض عن اصلها بحيث تدعبر السيور  
والقوايش كالسطوح المنفردة المماسية لسطح الجسم الذي هي موضوعة عليه  
وهذا ايضا ما يطبق على ما اسلفناه في الدرس العاشر من الهندسة

ثم ان كيفية تعليق الاحمال بالحبال ليسهل حملها على الناس بجديرة بالاعتناء بها  
والالتفات اليها بخصوصها فمن ذلك كيفية سهلة مناسبة وهي ربط قاتنين  
في ظهر جربندية العساكر اودلوى سقاي الافرنج وجعلهما مارتين من  
تحت الابط وفوق الكتف ولا يمكن توازنهما الا اذا كان لهما اتجاها اقصر خط  
يمكن مدّه من تقطعي الارتباط ويكون مارتا من تحت الابط وفوق الكتف  
ايضا وهذا هو السبب في كونهم يجبرون في الغالب على امساكهما بحبل  
افقي مارتا بالصدر وواصل من احدهما الى الآخر وبذلك يسهل تعيين الشدّة  
الحاصل للحبل المذكور والزاوية الحادثة منه ومن القاتنين في نقطة وقوعه  
وهناك كيفية اخرى تتعلق بالقائش وهي كيفية السقاء حيث يضع القائش  
على كتفيه ويزله بقدر طول ذراعيه الى ارتفاع يديه الذي ينتهي فيه القائش  
من كل من طرفيه بحمالة تمسك بأذن الدلو ولاجل منع الدلوين عن القرب  
من ساقى السقاء بواسطة ثقلهما يفرق بينهما بطارة فيسهل حينئذ تحصيل  
الشدّة الحاصل للقائش ويلزم أن يكون متوازنا أولا مع ثقل كل دلو وثانيا  
مع قوة الحصر الحادثة من الطارة التي يتعدى بها الجهد الحاصل من الدلوين  
لاجل اقترابهما من بعضهما

وفن ربط انواع الرزم بخيوط الدبارة مبنى على خواص توازن الحبال الممدودة  
على السطوح ومعرفة ذلك سهلة كعرفة تطبيق الحبال وربما سرت التلامذة  
من مباشرة اجراء ذلك بانفسهم ومن تحققهم في عمليات الصناعة من تصور  
النظريات

ومن الفنون المستظرفة التي تطبقها متنوعة وعملياتها بدیعة فن رسم  
مخنيات على سطح الجسم الانساني وعلى سطح الملابس تكون اقصر خطوط  
يمكن رسمها على هذين السطحين وتحقق هذا الوصف فيها يكون لها ارتباط  
باسباب التغير والسهولة والانتظام والظرافة  
وقد سبق انه يكون للعارضات خاصية هندسية وهي انه يكون اقصر خط  
يمكن رسمه على اسطوانة بين اى نقطتين من هذا الخط وبناء على ذلك يمكن  
أن نثني حبالا حلزونية على سطح اسطوانى ثم نشدّ هذه الحبال من اطرافها

مع تمام اتجاهاتها بدون أن يتغير ثقل من الانحناء الحاصل منها حول  
الأسطوانة

وقد جرت عملية عظيمة جدا من هذه الخاصية الهندسية في الآلات التي  
يلزم فيها انثناء الحبال على السطوح كما في عملية انثناء الحبل على الآلة  
المعروفة بالمنجنيق الآتي ذكرها في الدرس العاشر ومن هذا القبيل أوتار  
الكمنجة والعود والقانون فهي حادثة من وتر مركزي ينثون حوله على صورة  
حلزون سلكا معدنيا فيكون شد هذا السلك واحدا في جميع قطع طوله متى كان  
بهذه الصورة الحلزونية وبناء على ذلك يكون الاهتزاز الحاصل عند تحرك  
الآلة واحدا في جميع اجزاء الوتر وهذا ناشئ عن خواص الانحناء الحلزوني

والشبكات متكوّنة من الخيوط المرتبطة مثنى بنقط على نسق واحد وهناك  
شبكات الغرض من صنعها أن تنطبق على السطوح انطباقا صحيحا كالشبكة  
التي تغطي بها القباب الطيارة وتنتهي بحيط المركب التي تثقلها تلك القباب  
وبمقتضى القواعد المذكورة في هذا الدرس يسهل حساب الشد الحاصل  
لكل خيط من الشبكة

وفي زينة النساء غالبا شبكات معدة لتغطية بعض اجزاء من سطح شعورهن  
وملابسهن كالنسيج الذي يكون في العصاية وهو المعروف بغطاء الالماس  
والشبكات واصطناع ذلك على صورة الشبكات يجعله ملائما لانثناء الاجسام  
البشرية وانحنائها اتم الملائمة

### \* (الدرس السابع) \*

في بيان ما بقى من الحبال وفي التحركات المستديرة للحبال والتضبان  
والجملات والطيارات وفي مقادير الانحراف وفي البندولات

لنفرض ان قوة  $S$  تكون واقعة عموديا على نقطة  $A$  التي هي احد  
طرفي حبل  $AB$  غير القابل للمد والمجرد عن التناقل فيكون طرفه الآخر  
وهو  $B$  مربوطا في نقطة ثابتة  
واذا كانت قوة  $S$  المذكورة مؤثرة زمنا بدون معارض فانها تسير

نقطة  $\bar{A}$  المادية الى الامام تسييرا مستقيما وتبعدها كثيرا عن نقطة  $\bar{B}$  الثابتة غير أن الحبل المستعمل لذلك يمنع النقطة المادية المذكورة أن تكون بعيدة عن نقطة  $\bar{B}$  أكثر من البعد الاول وهو  $\bar{B}\bar{A}$  فإذا ن يجذب هذا الحبل النقطة المادية ليجعلها على بعد ثابت من النقطة المعينة وبواسطة هذه المقاومة تجذب قوة  $\bar{AS}$  الحبل الذي هو مشدود دائما بسبب تأثير هاتين القوتين فإذا ن ترسم نقطة  $\bar{A}$  التي هي طرف هذا الحبل دائرة فيرى في ذلك ثلاث قوى متباينة احدها قوة  $\bar{S}$  العمودية على نصف

قطر  $\bar{A}$  والموجهة على  $\bar{AS}$  الذي هو مماس الدائرة المقطوعة بنقطة  $\bar{A}$  المادية وهذه القوة هي المعروفة بالقوة المماسية والثانية القوة الجاذبة للحبل جهة المركز وهي المعروفة بالقوة المركزية والثالثة القوة التي تجذبه لتبعد نقطة  $\bar{A}$  عن المركز وهي المعروفة بالقوة المبعدة عن المركز وهي مساوية للقوة المركزية ومضادة لها ولذا كر النسبة الحاصلة بين القوتين الاخيرتين والقوة الاولى فنقول

لنرسم شكلا متوازي الاضلاع مثل  $\bar{AM}$  على ضلعي  $\bar{AN}$  و  $\bar{AO}$  المتساويين فيكون قطره وهو  $\bar{AM}$  دالا على ما يلزم بهذه من الجهد لاستبدال اتجاه  $\bar{AO}$  باتجاه  $\bar{AN}$  وانتقال الجسم من  $\bar{A}$  الى  $\bar{N}$  وهذا الجهد المبين بخط  $\bar{AM}$  هو القوة المركزية

فاذا مددنا نصف قطر  $\bar{SN}$  كان مثلثا  $\bar{ASN}$  و  $\bar{N}\bar{AM}$  متشابهين لانهما متماثلان وفيهما زاوية مشتركة وهي  $\bar{A}$  فإذا ن يحدث هذا تناسب وهو

$$\bar{SN} : \bar{AN} :: \bar{AN} : \bar{AM} = \frac{\bar{AN}^2}{\bar{SN}}$$

بمعنى ان  $\bar{AM}$  الدال على كل من القوة المركزية والقوة المبعدة عن المركز يكون مساويا لمربع القوة المماسية مقسوما على نصف القطر

وبمثل هذه البرهنة يعلم ان اذا اخذنا  $ان = ن ن = ن ن$  الخ  
 ووقعنا على  $ش ن$  و  $ش ن$  و  $ش ن$  الخ قوة مركزية جديدة  
 مساوية دائما  $ا م$  قطع الجسم في ازمة متساوية مسافات  $ا ن$   
 و  $ن ن$  و  $ن ن$  الخ فاذن يكون للجسم المذكور سرعة مماسة  
 ملازمة له ويحصل له في كل وقت من القوة للمركزية دفعة جديدة ثابتة متى قطع  
 دائرة معلومة وهذا هو المعروف بالتحرك المستدير المنتظم  
 وفي هذا التحرك تكون السرعة المماسية مساوية للقوس المقطوع مقسوما  
 على الزمن المعدل لقطعه

واذا قسم القوس بنصف القطر حدث من ذلك قياس الزاوية وحيث ان تكون  
 الزاوية المقابلة للقوس المقطوع مساوية للسرعة المماسية مقسومة على  
 نصف قطر هذا القوس ومضروبة في الزمن المعدل لقطعه ويحدث من هذه الزاوية  
 المقسومة على الزمن قياس ما هو معروف بالسرعة المتزوية للجسم الدائر  
 حول المركز فاذن تكون  $ا و لا$  السرعة المتزوية مع السرعة المماسية  
 على نسبة منعكسة من نصف القطر  $و ثانيا$  تكون كلتا سرعتين المماسية  
 والمتزوية مناسبتين لنصف القطر

ففي تغيرات انصاف الاقطار كان الزمن المعدل لقطع الدائرة تمامها على نسبة  
 منعكسة من السرعة المتزوية فيكون الزمن المعدل لقطع الدائرة تمامها مناسبا  
 لنصف القطر مقسوما على السرعة المماسية

وهذه النتائج موضع في كثير من مسائل الميكانيكا المهمة في الصناعة  
 ولا تغفل انه اذا كان الجسم الدائر حول المركز موطا بخيط او حبل او قضيب  
 كانت القوة المركزية هي الشد الواقع على الخيط او الحبل او القضيب من جهة  
 المركز وكانت القوة المبعدة عن المركز هي الشد المقابل للمتقدم والواقع  
 على الخيط لبعده عن المركز

وراكب الفرس الذي يدور بها في الميدان يكون في مركز الدائرة ويكون

فأبضا يده على طرف عنان القوس فتكون القوة المماسية هنا هي قوة القوس  
الذي يميل دائما الى الانقلاب من المماس غير أن الراكب المذكور يشد العنان  
بقوة مركزية مساوية للقوة التي يشد بها القوس عنانه بمعنى انها تكون مساوية  
للقوة المبعدة عن المركز المنسوبة للقوس ومتى كانت سرعة القوس مضاعفة  
مثنى كانت القوة المركزية مضاعفة رباع واذا كانت السرعة مضاعفة ثلاث  
كانت القوة المذكورة مضاعفة تسع مرات وهكذا وما ذكرناه في هذا المعنى  
مع ما يتعلق به من النسب يلازم تحرك المقلاع الذي سنذكره قريبا

ثم إن القوس الذي يدور في دائرة بدون مانع يمنع من الدوران لا يمكنه الاستقامة  
والاعتدال فيها لان القوة المبعدة عن المركز التي تقوى دائما اجزاء جسمه  
تدفعه دفعا اقويا الى خارج تلك الدائرة بل تكاد توقعه فلاجل مقاومة  
تاثيرها يميل القوس باعلى جسمه الى جهة مركز الدائرة التي يقطعها ويلزم  
أن يكون هذا الميل متزايدا بقدر مربع سرعته ويعظم ميله متى اسرع  
في العدو والجري \* ولاجل أن يمكنه السير بدون صعوبة عند ميله الى جهة  
مركز الدائرة يميل به الراكب دفعة واحدة الى الطريق المستدير الذي يلزم  
قطعه (شكل ٢)

واذا كان القارس قائما على فرسه مع الاعتدال والاستقامة فانه يجبر على الميل  
باعلى جسمه الى جهة مركز الميدان لثلا يسقط بتاثير القوة المبعدة عن المركز  
ويدل شكل ٢ على ما بين قوة التناقل والقوة المبعدة عن المركز من التركيب  
ليحصل التوازن بين القوس وراكبه

واذا سارت العربى وورحت في سيرها قوس دائرة اوسارت سيرا مستديرا

لحقها تاثير القوة المبعدة عن المركز التي تكاد تقلبها فاذا دارت في طريق ل  
التحدروا الى جهة مركز الدوران وهو و حدث في هذا الوضع عن القوة  
المبعدة عن المركز وقوة التناقل ما يحدث عن القوس (شكل ٢) عند دورانه  
في طريقى أ ب و هـ د حول محور و



ومنى كان طريق **م** اقريبا فلا شئ يتقص ميل القوة المبعدة عن المركز حتى تقلب العربية

فاذا كان طريق **ن** منحدرًا بعيدًا عن مركز الدوران فان هذا الانحدار ينضم تأثيره الغير الموافق الى تأثير القوة المبعدة عن المركز فينشأ عن ذلك خطر عظيم في الانقلاب

وفي طرق **فرانسا** ضرر عظيم وذلك انها محدبة من منتصفها بحيث يظهر منها الانحداران عظيمان جدًا في جهتين متقابلتين فاذا تقابل عربتان في بعض الانعطافات فان العربية المتوجهة الى الانحدار الذي يكون نحو مركز الدوران تكون متقوية بهذا الانحدار واما المتوجهة الى الانحدار الخارج فانها لا تكون متقوية بهذا الانحدار بل ربما كانت عرضة للانقلاب

وعما ينبغي نظمه في سلك القواعد المطردة التي يجب العمل بها هو انه في جميع الانعطافات لا يلزم عمل انحدار خارج مطلقا وانما يلزم عمل انحدار الى جهة مركز الدوران بقدر الامكان

فاذا كانت القوة المبعدة عن المركز على نسبة منعكسة من قطر القوس المقطوع فانه ينتج من ذلك انها تكون صغيرة متى كان القطر كبيرا وتكون متزايدة متى كان القطر متناقصا واذا كان في الانعطافات القصيرة جدًا ما ليس لقوسه الا قطر صغير جدًا كانت القوة المبعدة عن المركز كبيرة وبذلك يكون الانقلاب شديد الخطر

وقصارى الامر أن هذا الخطر يتزايد بقدر مربع سرعة العربات وهذا هو الحامل لمهرة العربية والخيالة على كونهم لا يسوقون خيولهم سوقا حثيثا في الانعطافات القصيرة بل يمشون على مهل متى ارادوا الدوران ولتنبيهنا على ان الميكانيكا يعرف بها مع الضبط والسهولة جميع تأثيرات التحرك المستدير في الصور المهمة المتعلقة بالامن والاطمئنان في النقل والاسفار ويعرف بها ايضا قواعد عمل العربات التي تصنع بموجب قوانين التحرك

فاذا كانت العجلة (شكل ٣) سرية الحركة في الرمل او الطين فانها ترفع معها شيئا من ذلك تكون سرعته المماسية عين سرعتها وحيث ان مآثره لا يثبت على القضبان ولا على تصاليب العجلة بقوة تساوى القوة المبعدة عن المركز لزم أن يقع عليه تأثير هذه القوة وأن يكون مدفوعا بالسرعة التي اكتسبها ويوضع امام عجلات العربات المزينة لوح معدني عريض مستدير مثل  $\overline{س ص}$  يعرف بالمائع لانه يمنع جميع قطع الطين الصغيرة المدفوعة بتأثير القوة المماسية

واذا لم تكن تصاليب العجلات متلاصقة بمسامير غائصة الى انصافها في اطراف تلك التصاليب المماسية وقضبان من الحديد سارة لهذه التصاليب فان القوة المبعدة عن المركز تكاد دائما أن تبعد التصاليب المذكورة عن المركز وتخلعها من المسامير الرفيعة وتحدفها كالرمل والطين اذا عظمت سرعة العجلات ومتى كانت المسامير المثبتة للقضبان على التصاليب داخلية قليلا في الخشب فان القوة المبعدة عن المركز تخلعها وتحدفها في اتجاه المسامير الرفيعة الممتدة وبالجمله فجميع مجموع التصاليب والقضبان والمسامير المثبتة لها على التصاليب له قواعد تعلم من نسب القوة المماسية والقوة المبعدة عن المركز وكذلك كثير من العجلات المستعملة في الآلات كإسباني

واذا ضرب الصانع بالبلطة او المطرقة ضربا قويا فان حركه الآلة في حالة الضرب تكون على شكل قوس دائرة بخلاف ما اذا كان الضرب ضعيفا فانها تحيد عن مماس القوس الذي تقطعه فلذا كان الدوران مستديرا وكان ضرب الدبوس والبلطة والبالة ونحو ذلك بهذه الكيفية ومن هذا القبيل ايضا القلاع

وذلك ان القلاع كان قبل اختراع اسلحة النار من آلات الرمي المهمة ثم صار الآن لعبة في ايدي الصبيان وكيفية الرمي به أن يوثق بحبل خفيف كحبل اثب (شكل ٤) يكون في منتصفه كفة ككفة  $\overline{ث}$  يوضع فيها حجر ثم يضم طرفاه وهما  $\overline{أ}$  و  $\overline{ب}$  الى بعضهما ويقبض الانسان عليهما

يد واحدة ثم تحركه فتحرك دوران فاذا استعمل في تحريكه قوة ثابتة فان  
المقلع يدور بسرعة ثابتة ويكون حبله مشدودا دائما فيحدث عنه في اليد  
جهد يدل على القوة المركزية اللازمة لامساك الحجر  $\theta$  دائما على بعد  
واحد من مركز  $A$  ومتى ارنى احد طرفي الحبل فان هذه القوة المركزية  
لاتضاد القوة المبعدة عن المركز وكذلك الحجر لا يتحرك فتحر كاستديرا  
بل تدفعه القوة المماسية بدون مانع فيقطع في سيرة خطا مستقيما اذا حذف  
رأسيا

وقد قطعنا النظر في جميع ما ذكرناه عن تأثير التناقل على جسم بجسم  $A$   
لانه انما لم قطع النظر عن هذا التأثير كان حل المسئلة صعبا جدا  
واذا اقتضى الحال ان الجسم يدور في دائرة محيطة فانه يتحرك على محيط  
هذه الدائرة بالقوة الثابتة التي تصير بهذا التحرك قوة مماسة وبها تعين  
سرعة سيره وهذه القوة المماسية الدافعة للجسم حتى يخرج عن المماس  
تعرض لها دائما مقاومة على محيط الدائرة المحيطة وهذه المقاومة العمودية  
على المحيط المتجهة بذلك الى جهة المركز هي القوة المركزية المساوية والمضادة  
مباشرة للقوة المبعدة عن المركز

وقد يستعمل في فن الطوبجية براميل دائرة على محورها ومحتوية على  
الرصاص المراد صفه فيلزم أن تكون صلبة هذه البراميل مناسبة أولا  
لجسم الرصاص المظروف فيما وثاينا لما للرصاص من القوة المبعدة عن  
المركز المناسبة لمربع القوة المماسية المستعملة لتدوير الرصاص في البرميل  
وينبغي أن يضاف الى ذلك كثير من الطناير الدقارة المحتوية على الرصاص  
المسقول او الاكر الصغيرة المتخذة من النحاس الموضوع في البارود المراد  
تحييه وانما اقتصرنا على التحرك المستدير للجسم المجهور على أن يتحرك فتحر كا  
مضنيا لان الحبل او القضيب او المحيط الجسم يجبر الجسم على اتباع هذا الخط  
بواسطة تأثير متجه دائما الى جهة مركز التحرك  
وهناك امثلة عظيمة تتعلق بالاجسام المتحركة تحرك كا مضنيا بدون

أن تكون ممسكة برابط من الروابط المتوسطة او المحيطات الخارجة فمن ذلك القمر فانه يتحرك في الفراغ حول الارض بدون عائق وكذلك الارض حول الشمس (شكل ٥)

ويوجد في هذه التحركات من مبداء الامر قوة ط المماسية التي تدفع دائما القمر والكواكب السيارة دفعا مستقيما ثم ان الارض بالنسبة للقمر نقطة بورية لقوة ث المركزية المؤثرة دائما في القوة المبعدة عن المركز للقمر وكذلك الشمس بالنسبة للارض فانها نقطة بورية للقوة المركزية المؤثرة دائما في القوة المبعدة عن المركز للارض

فاذا توازنت القوة المركزية والقوة المماسية وكاسا على نسبة موافقة للتحرك المستدير فان القمر يرسم في سيره دائرة حول الارض وكذلك الارض ترسم في سيرها دائرة حول الشمس غير ان هناك اوضاعا تكون فيها القوة المماسية ضعيفة فيكون القمر حينئذ متباعدنا عن الارض والارض متباعدة عن الشمس وعند تباعدهما يكون اتجاههما المبعدة عن المركز مائلا بالنسبة للاتجاه المركزي وبناء على ذلك تكون القوة المركزية مضادة للقوة المبعدة عن المركز وتقصها بحيث يزول امر القوة الاخيرة وهي المبعدة عن المركز الى كونها فوق قليلا القوة الاولى وهي المركزية فيقرب الكوكب المتحرك حينئذ من مركز تحركه وهذا هو سبب كون القمر يرسم حول الارض والارض ترسم حول الشمس منحنيا ممتدا وهو قطع ناقص وتكون الارض نقطة بورية للقطع الناقص الذي يتبعه القمر والشمس نقطة بورية للقطع الناقص الذي يتبعه الارض

والقوة المركزية للارض بالنسبة للقمر هي القوة التي تسمى بقوة التناقل والتجاذب كما سبق وهي القوة التي تهبط بها الكلة المرمية من اسفل الى اعلى وتجبرها على رسم منحنى كمنحنى **آبث** (شكل ٦) اذا رميت رميا مائلا فاذا كانت قوة التناقل ثابتة ولم يحصل من الهواء مقاومة لتحرك الاجسام المرمية فيه فان الجراو الكلة او الطيارة

او نحو ذلك يرسم من اول دفعة تحصل له من القوة الاصلية قطعاً مكافئاً  
مثل أ ب ث

ومقاومة الهواء الحقيقية تنقص بها المسافة المحاطة بالمحنى وتسطح بها

المسافة الثانية من القطع المكافئ الوهمي ويحدث عنها معنى أ هـ ف  
والقرص المهم من تجاريب فن الطوبجية هو انه بحسب بحجمات وجحوم  
الكلل والجبج والرصاص ويحود ذلك وكذلك بحسب القوة التي ترى بها  
تلك الاشياء واتجاه الدفعة الاصلية تعين النقط التي يمكن وصول المرمى  
اليها على ارتفاعات متنوعة وابعاد مختلفة ولا نذكر هنا من علم  
الميكانيكا الا التطبيقات العظيمة التي تحدث عنها القضايا النظرية التي تخص  
فن الطوبجية

وقد ثبت الا ان عند الافرنج ان الارض غير ساكنة ولا موضوعة كنقطة  
ثابتة في مركز العالم بل تدور بسرعة على نفسها بحيث تكمل دورتها  
في طرف اربع وعشرين ساعة وهي مدة الليل والنهار وعليه فبدوران هذه  
الكرة يقتل سكانها القاطنون على خط الاستواء من المغرب الى المشرق  
مع سرعة اكبر من سرعة الماشي مشياً معتاداً باربعين مائة مرة

فاذن تكون كل قطعة من نقط الارض مدفوعة بقوة عماسة تكاد تنقلها  
بعيداً عن الكرة المذكورة وبهتة مركزية تكاد تجذبها نحو المركز وهذه القوة  
المركزية هي المسماة جاذب الارض وحيث ان تأثير القوة العماسة واحد تقريباً  
في سائر الاجسام الموضوعة بجوار بعضها فان هذه الاجسام المتحركة بتأثير  
تلك القوة تكون على حالة بحيث تكاد ان تكون ساكنة

وليكن (شكل ٧) مسقط الارض موارياً لخط الاستواء بحيث يكون  
خط الاستواء والموازيات كلها دوائر ولتقابل بين ت ح ر تقطبي هـ و أ  
الموضوعتين احدهما على خط الاستواء وهو هـ هـ هـ والاخرى على مواز  
اي كان كموازي أ أ ونفذ نصف قطر و ص قريباً جداً من قطر هـ هـ

فأذا نزلنا بمودى  $\overline{س هـ}$  و  $\overline{س ص}$  على  $\overline{هـ و}$  كان نصف القطر  
وهما  $\overline{و هـ}$  مناسبين بذاهة لقطي  $\overline{هـ س}$  و  $\overline{س هـ}$  الدالين على  
القوتين المبعدين عن المركز المتسويتين لنقطتي  $\overline{هـ}$  و  $\overline{آ}$  الماديتين  
فأذن تكون القوة المبعدة عن المركز الواقعة على كل نقطة مناسبة لبعدها محور  
عن هذه النقطة وهذا في حالة تحرك الأرض حول محورها

وعلى ذلك تكون القوة المبعدة عن المركز كبيرة مهما أمكن في قطبي  $\overline{هـ}$  و  $\overline{هـ}$   
الموضوعتين على خط الاستواء وبهذه القوة ينعدم جزم من تناقل الأجسام  
ثم إن تناقل الأجسام في خط الاستواء يكون صغيرا عما إذا كان  
في نقطة ما من قطب الأرض وسيأتى قريبا كيفية تحقيق ذلك بالتجربة.

ولنفرض أن برج  $\overline{هـ ف}$  يكون مبنيًا في نقطة  $\overline{هـ}$  فأذا رمتنا من نقطة  $\overline{و}$   
التي هي المركز قوس  $\overline{ف ص}$  ومددنا  $\overline{ص س}$  عمودا على  $\overline{و ف}$   
حدث هذا التناسب وهو  $\overline{و هـ} : \overline{و ف} :: \overline{هـ ص} : \overline{ف ص}$   
وهذه هي نسبة القوى المماسية

فأذا اوقفنا من  $\overline{ف}$  التي هي رأس البرج جسمًا فان هذا الجسم يصل  
إلى أسفل البرج حين يكون الرأس في نقطة  $\overline{ص}$  ويكون مدفوعا بالقوة  
المماسية التي تجبره على قطع  $\overline{ف ص}$  فأذن يلزم أن هذا الجسم حين يكون  
أسفل البرج في نقطة  $\overline{ص}$  لا يقع في هذه النقطة قط بل يقع أيضا في نقطة  $\overline{ز}$

على بعد  $\overline{هـ ز} = \overline{ف ص}$  ولنوضح ذلك بالأرقام فنقول  
أن نصف قطر الأرض في خط الاستواء يساوى ٦٣٧٦٤٦٦ مترا  
ولنفرض أنه في إحدى المدن التي على خط الاستواء بنى برج ارتفاعه مائة متر  
والمطلوب معرفة فاضل سرعة النقطتين الماديتين الموضوعتين أحدهما

في أسفل البرج والاخرى في رأسه فيكون نصف قطر المحيط المقطوع باحدى  
النقطتين ٦٣٧٦٤٦٦ مترا والمقطوع بالآخرى ٦٣٧٦٥٦٦ مترا  
والنسبة المتعكسة لهذين العددين هي نسبة السرعة المتكررة ومما يسهل  
مشاهدته ان النقطة العليا تقطع في يوم واحد زيادة عن النقطة السفلى مائة متر  
مضروبة في النسبة الحاصلة بين المحيط ونصف القطر ويحدث من ذلك  
٦٢٨ مترا وكسور فاذا كان هنالك جسم ثقيل وخلي لنقله الاصل في محل خال  
عن الهواء فانه يهبط مائة متر في خمس نوان بالابتداء من احدى نقط محيط  
خط الاستواء وذلك يساوي  $\frac{17280}{36}$  جزأ من اليوم فاذا قسم ٦٢٨ مترا  
على ١٧٢٨٠ تحصل معنا الكمية التي يقرب بها اعلى البرج من جهة  
المشرق اكثر من قرب اسفله اليامدة سقوط هذا الجسم وسيأتى ان الجسم  
الثقيل لا يقع في أسفل البرج على مستقيم رأسى بل يتحول الى شربه بعد قدره

$$\frac{628}{17280} = 36 \text{ مليترا تقريبا}$$

وحيث ان مقاومة الهواء تبطل سقوط الاجسام لزم لسقوطها من ١٠٠ متر  
اكثر من خمس نوان فعلى ذلك يتحول الجسم الثقيل عند سقوطه من اعلى البرج  
الى جهة شرقى اسفله بعدا اكثر من ٣٦ مليترا وقد دلت التجربة على ذلك  
ومنى دار جسم صلب حول محورا حدثت جميع نقطه في زمن واحد ودورة  
كاملة وكانت سرعتها المتكررة مناسبة للمحيطات وبذلك تكون ايضا مناسبة  
لانصاف اقطار الدوائر التي تقطعها هذه النقطة

وفي دائرتين مختلفتين يكون مركزهما في مركز التحرك ويكونان حاملتين  
مع الانتظام اجزاء مادية تكون كمية هذه الاجزاء مناسبة لنصف القطر  
فاذن يكون فيهما كمية التحرك (اعنى حاصل ضرب الجسم في السرعة)  
مناسبة لنصف القطر مضروبا في نصف القطر اعنى لمربع نصف القطر

وينتج من ذلك في الآلات التي يستعملون فيها الججلات المحققة المحتوية على  
قضيبين مستديرين عرضهما واحد كقضيبى **ا ب ث** و **ا س ث**

(شكل ٨) ان كمية التحرك التي يهايدفع القضبان المذكوران عندما يتحان دورانهما في زمن واحد تكون مناسبة لمربع نصف قطر المجلات المذكورة فاذا كانت مجسمات المجلات متساوية كان تدوير الكبيرة اصعب من الصغيرة مثلا اذا كان  $\overline{ا ب}$  اكبر من  $\overline{ا ر}$  ثلاث مرات واثقل منه ايضا ثلاث مرات ففي اريد تدوير  $\overline{ا ب}$  دورة كاملة في الزمن الذي يراد فيه تدوير  $\overline{ا ر}$  لزم لذلك ضرب ثلاث مرات في نفسها اي تسع مرات بقدر كمية التحرك فاذا جعلنا  $\overline{ا ر}$  اقل من الاول بثلاث مرات بدون أن يكون كبيرا فانه يمكن أن تضعف هذه الكمية ثلاثا لتبقى السرعة على حالها فتكون الكمية المذكورة اصغر من الكمية التي تدفع  $\overline{ا ب}$  لان هذه القوة اكبر منها تسع مرات

وبناء على ذلك اذا كان المطلوب حصر كمية عظيمة من التحرك في مجسم مادي معلوم فالاصوب تقسيم هذه المادة على محيط كبير القطر ومن المهم في كثير من الحالات حصر كمية عظيمة مهمامكن من التحرك في مجسم لا يؤثر بثقله على نقط الارتكاز كثيرا فهذه الواسطة اذا عرض خلل او حدث عارض من عدم تساوي التحركات ونشأ عنه اسراع او بطئ مضر فان المجلة المدفوعة بتحرك دوران ثابت ~~تكتسب~~ او ينعدم منها كمية من التحرك كبيرة بالكفاية من غير أن تتغير سرعتها كثيرا والذي اقول ان المجلة المذكورة تكون بمنزلة المحافظ او المنتظم الذي يؤثر غالبا تأثيرات نافعة ويطلق على محافظ القوى اسم الطيارات

وعوضا عن أن نجعل المحافظ على صورة قضيب متواصل مثل  $\overline{ا ب}$  (شكل ٨) فنحصر غالبا المادة المطلوب توزيعها على قضيب  $\overline{ا ب}$  في ثلاث نقاط او اربعة متساوية البعد عن بعضها كنقط  $\overline{ا}$  و  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  (شكل ٩) او  $\overline{ا}$  و  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  و  $\overline{د}$  (شكل ١٠) وحينئذ يكون لهذه المادة التي على بعد متوسط من مركز الدوران كمية واحدة من التحرك بالنسبة لسرعتها الثابتة



ولنبرهن على ان نقطة  $و$  التي هي مركز دوران الطيارات تكون مركز  
ثقلها ايضا فنقول ان العجلة بدون ذلك تكون دائما مجذوبة من جهة  
اكثر من الاخرى فلا يكون محور كها منتظما ولا منتسقا لابتداء حصول النفع  
من تحقق هذا الشرط وهو أن نأخذ مركز الطيارة ونجعل مركز ثقلها  
الاتقال التي تتخذ منها تلك الطيارة فهذه هي القاعدة التي جرى بها العمل  
في (شكل ٩) و (شكل ١٠)

واما الدعوى النظرية التي سنذكرها فلا بد منها لصناع السفن  
والساعاتية وصناع الآلات غير أنه في كثير من المدن يجهز العملة عن اتباعها  
فيوز للمعلم أن يضرب عنها صفحا

وهذه الدعوى هي التي يبرهن بها في الاجسام الصلبة التي تدور حول المحور  
كما تقدم في الكرة الارضية على ان القوة المبعدة عن المركز تكون مناسبة  
لبعد المحور عن كل نقطة مادية

ولذلك نفرض ان مستوى شكل ١٢ يكون عموديا على هذا المحور المبين

بنقطة  $غ$  ولتكن النقط المادية المتساوية في الجسم وهي  $م$  و  $م' الخ$  و  $م$

و  $م' الخ$  هي التي يتركب منها جسم  $ا ب ث د$  فتكون ابعاد  $غ م$   
و  $غ م' الخ$  و  $غ م' الخ$  مناسبة للقوى المبعدة عن المركز وربما كانت  
دالة عليها

ولنفرض أن مركز الثقل يكون على محور  $غ$  ونمضاعف  $م$

و  $م' الخ$  و  $م ن$  و  $م' ن$  الخ على مستقيم كستقيم  $س غ ص$

المجوعول محورا لمقادير  $ا$  و  $م' الخ$  و  $م$  و  $م' الخ$  فيحصل

اولا  $م' غ + م' غ' = ... = م' غ ن + م' غ' ن$  الخ

وثانيا  $م' م + م' م' = ... = م' م ن + م' م' ن$  الخ

اعني انه يكون لقوى  $غ م$  و  $غ م' الخ$  و  $غ م' الخ$

المبعدة عن المركز المقسومة قسما عموديا على مستقيم  $س ع ص$   
وقسما موازيا لمحصوله معدومة على اى اتجاه تقسم عليه هذه القوى  
بالتوازي لمستوى الشكل وحيث لا تكون محصلة القوى المذكورة الموازية  
لهذا المستوى جاذبة للمحور المارة بمركز ثقل الجسم الى جهة  $ص$  كثر  
من الاخرى

ولنفرض الآن ان مركز الدوران وهو  $غ$  يكون في بعد  $غ غ$  من مركز  
ثقل  $غ$  على محور  $س غ ص$  الموازي لمحور  $س غ ص$  فتكون  
محصوله قوى  $غ م$  و  $غ م$  الخ و  $غ م$  الخ الجديدة المبعدة عن المركز  
المقسومة بالتوازي الى  $غ غ$  هي

$م \times م + م \times م + \dots + م \times م - م \times م - م \times م - \dots$  الخ  
ولا تتغير هذه المحصلة اذا طر حنا منها مقدار  $م \times م + م \times م + \dots +$   
وكذلك لا تتغير اذا زدنا عليها مقدار  $م \times م + م \times م + \dots +$   
المساوي لغيرانه فيبقى التنبيه على ان  $م - م = م - م = \dots$   
 $\dots = م - م = م - م = \dots$   
فاذن يكون ما تحصل من الجمع والطرح المفروضين هو مجموع مجسمات

$م + م + \dots + م + م + \dots$  مضروب في  $غ غ$   
فعلى ذلك اذا دار جسم حول محور  $س غ ص$  الذي لا يمر اصلا بمركز ثقله  
وهو  $غ$  فان محصلة القوى المبعدة عن المركز تتزايد بالنسبة لبعدها عن المحور  
عن المركز وتكون باقية على حالة واحدة اذا فرضنا ان سائر اجزاء الجسم تكون  
كثيفة في مركز  $غ$

ثم ان تأثير القوة المبعدة عن المركز يكاد يتقل المحور عن موضعه و يجذبه دائما

الى جهة مركز الثقل وهذا ضرر ينبغي اجتنابه في اغلب آلات الدوران لاسيما في الآلات التي تستعمل فيها الطيارات ومن هنا القاعدة المطردة وهي انه يلزم أن يكون مركز ثقل الطيارة موجودا على محور الدوران ولنعتبر ان تأثير القوى البعده عن المركز يقوم بالتوازي للمحور ولنفرض (شكل ١٢) ان مستوى الشكل يكون مستويا للمحور

ونرمز الى هذا المحور بخط س غ ص مع جعل نقطة غ مركز ثقل الجسم ثم قطع الجسم بمستويات عديدة مثل م و م' و م'' الخ عمودية على المحور وليكن على مستوى الشكل نقط م و م' و م'' الخ دالة على مساقط مراكز ثقل النقاط المادية المحصورة في كل مستوى فتكون محصلة سائر القوى البعده عن المركز مينة بمحصلة قوى م × م و م × م'

و م × م'' الخ ثم انه يلزم لاجل تعيين محصلة هذه القوى تحصيل ح التي هي محصلة القوى الموضوعة في احدى جهتي المحور وتحصيل خ التي هي محصلة القوى الموضوعة في الجهة الاخرى منه فاذا كانت قوتا

ح و خ موجودتين على عمود واحد على المحور وكان هذا المحور مارا بمركز ثقل الجسم فان هاتين القوتين يكونان بالضرورة متوازيتين وبناء على ذلك لا يمكن أن يتحرك المحور في جهة مما بتأثير القوى البعده عن المركز لكن

كافي شكل ١٢ اذا كان عمودا ح و خ المتدان على محور س غ ص لا يتسبان لمستقيم واحد فان المحور يكون مجبورا على الدوران

بتأثير قوتي ح و خ المضروبين على التناظر في بعدي غ ح و غ خ ويحصل مقدارا ح و خ بالنسبة لمركز ثقل غ بضرب قوة م

م × م في غ ح وقوة م × م' في غ ح' وقوة م × م'' في غ ح''

في غ ح' وهلم جرا ثم يتظر هل مجموع مقادير القوى المؤثرة في جهة

مساو لمجموع مقادير القوى المؤثرة في الجهة المقابلة لها ام لا  
وقد يبرهن بطرق حساسية لاحاجة الى ذكرها هنا على ان مساواة المقادير  
الاعتيادية شرط لا بد منه في جعل مقدار اينرسي الجسم المأخوذ بالنسبة لهور

س غ ص نهاية كبرى او صغرى

واذا اريد أن محور الطيارات وسائر المحاور المستعملة في آلات الدوران لا يقع  
عليها من تأثير القوى المبعدة عن المركز ضغط في اى جهة كانت لزم تنظيمها بحيث

تكون قوتا س و غ موضوعتين دائماً على مستقيم واحد عود على

المحور في الزمن الذي يكون فيه هذا المحور مائلاً بمركز الثقل

وما يكون للمحاور المستوفية لهذا الشرط من عظيم النفع في تحريك الآلات

يؤيد تسميتها بالمحاور الاصلية

وبعد تعيين الانجاء الكثير الفائدة للآلات لهور الطيارات يلزم معرفة السرعة

التي تكون للطيارات عندما يستعمل في تحريكها قوة معينة ويكون حجمها

وحجمها معينين ايضا

ولاجل مزيد السهولة نفرض أن محور الدوران عود على مستوى شكل ١١

وليكن مينا نقطة و في دور الجسم حول هذا المحور بواسطة قوة

ف ف على بعد و ف الذي هو بعد المحور المذكور ونفرض ف ف

في مستوى الشكل المتقدم

فيكون الجهد او مقدار ف ف المعد لتدوير المحور مينا بكمية

ف ف x و ف

وتكون السرعة المنزوية وهي آ التي يأخذها الجسم هي القوس المقطوع

مدة وحدة الزمن على الدائرة التي يكون نصف قطرها مأخوذاً وحدة لها

فقط م التي هي النقطة المادية من الجسم في مدة وحدة الزمن قوس م م

$$\overline{A} \times \overline{W} =$$

فتكون  $\overline{M}$  التي هي كمية التحرك حيث نذهب  $\overline{M} \times \overline{A} \times \overline{W}$  وتكون  
الكمية الكلية لتحرك نقط الجسم وهي  $\overline{M}$  و  $\overline{M}$  و  $\overline{M}$  الخ

$$\overline{A} \times \{ \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \dots \}$$

ولاجل قياس التأثير الحاصل من كل عنصر بواسطة كمية التحرك المذكورة

لاجل تدوير المحور يلزم تحويل سائر نقط  $\overline{M}$  و  $\overline{M}$  الخ الى مستقيم

$\overline{N}$  من احدى جهتي المحور بدون أن يتغير بعدها عن هذا المحور وعلى ذلك

فسائر القوى المماسية التي تدفع  $\overline{M}$  و  $\overline{M}$  و  $\overline{M}$  الخ وهي القوى

المدلول عليها بكميات التحرك المتصلة معنا سابقا تكون متوازية

ومضبهة الى جهة واحدة وتكون محصلتها وهي  $\overline{R}$  بموجب قاعدة مقادير

القوى معلومة من ضرب كل قوة في بعدها عن المحور فاذن يكون

$$\overline{R} \times \overline{O} = \overline{A} \times \{ \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \dots \}$$

او يكون على سبيل الاختصار

$$\overline{R} \times \overline{O} = \overline{A} \times \{ \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \overline{M} \times \overline{W} + \dots \}$$

وتكون قوة  $\overline{R}$  =  $\overline{F}$  باقية على حالتها وكلما تزايد مجموع  $\overline{M} \times \overline{W}$

+  $\overline{M} \times \overline{W}$  +  $\overline{M} \times \overline{W}$  +  $\overline{M} \times \overline{W}$  +  $\overline{M} \times \overline{W}$  تناقصت سرعة  $\overline{A}$  المنزوية وبالعكس

اي كلما تناقص هذا المجموع تزايدت سرعة  $\overline{A}$  المنزوية وبناء على ذلك

يكون المجموع المذكور دالا على مقاومة الجسم للتحرك الدوراني

بواسطة الا ينسب متى اثرن في هذا الجسم قوة معلومة ومن ثم قيل لهذا

المجموع مقدار الا ينسب فاذن يكون مقدار الا ينسب لنقطة مادية هو

مجموعها وهو  $\overline{M}$  مضروبا في مربع بعدها عن محور الدوران ويكون

مقدار الاينري لجسم ما مساويا لمجموع مقادير اينري كل جزء من اجزائه الصغيرة جدا وبالجملة فالسرعة المتزوية التي يأخذها الجسم بواسطة قوة ما حول محوره تساوي المقدار البسيط لهذه القوة مضوما على مقدار اينري الجسم وهذه هي السرعة التي قوتها

ولمقادير الاينري خواص مهمة جدا في علم الميكانيكا لا يمكن ذكرها هنا لان ذلك يستدعي معارف عالية ولنفرض فقط قطعتين مائتين كنقطتي

٢ و ١ (شكل ١٢) يكون مركز ثقلهما في نقطة  $\bar{G}$  ونديرهما

حول محور  $\bar{S}$   $\bar{S}$  العمودي على  $\bar{M}\bar{G}$  فيكون مجموع مقادير اينري ٢ و ١ هو

$\bar{M} \times \bar{G}\bar{M} + \bar{M}' \times \bar{G}\bar{M}'$  وليكن الآن محور  $\bar{S}$  موازيا لمحور  $\bar{S}$  فيكون مقدار الاينري بالنسبة لهذا المحور الجديد هو

$\bar{M} \times \bar{G}\bar{M} + \bar{M}' \times \bar{G}\bar{M}'$  فيكون فاضل هذين المقدارين هو

$\bar{M} \times \bar{G}\bar{G} + \bar{M}' \times \bar{G}\bar{G}$  اعني مربع  $\bar{G}\bar{G}$  الذي هو بعد المحور عن مركز الثقل مضروبا في مجموع مجسمي ٢ و ١

وليست هذه الخاصية مقصورة على قطعتين مائتين بل تجري ايضا في كثير من النقط التي يتركب منها الجسم الذي يمكن أن يكون له صورة ومجسم

حيثما اتفق وعلى ذلك فمقدار الاينري في اتجاه  $\bar{S}$  المقروض

لمحور الدوران يكون صغيرا مهما كان هذا المحور مادا بنقطة  $\bar{G}$  التي هي مركز ثقل الجسم فاذا لم يكن مادا بمركز الثقل المذكور فان مقدار

الايترى يزداد بكمية مساوية لجسم الجسم منفر وبأى مربع بعد المحور  
 عن مركز ثقل الجسم ولنجعل  $\overline{م ك}$  مقدار ايتري الجسم الذى  
 مجسمه  $\overline{م}$  عندما يكون المحور مارة بمركز الثقل فيكون  $\overline{ك د}$  دالا على  
 طول معلوم فاذا رمز بحرف  $\overline{د}$  الى بعد مركز الثقل عن اى محور دوران  
 كان مقدار الايتري بالنسبة لهذا المحور  $\overline{م} \times (\overline{د} + \overline{ك})$   
 وهو مقدار يسهل حسابه بمجرد معرفة مقدار الايتري المعين بالنسبة  
 لمستقيم مواز للصور وممتد من مركز الثقل  
 ويكون بالبداية مقدار ايتري سائر المحاور الموازية لاتجاه معلوم  
 والموجودة كلها على بعد واحد من مركز الثقل كبعد  $\overline{ك د}$  هو

$$\overline{م} (\overline{د} + \overline{ك})$$

ويمكن ان نقابل بين مقادير ايتري الجسم المأخوذة بالنسبة لمحاور متنوعة  
 مارة بمركز الثقل فنقول يوجد في هذه المحاور محاور مقدار ايتريه اصغر  
 من مقادير ايتري ماعداء من المحاور ولا مانع من تسميته بمحور الايتري  
 الصغير وهنالك محوران عمودى على هذا المحور مارة بمركز الثقل مقدار ايتريه  
 كبير مهما امكن ولا مانع من تسميته بمحور الايتري الكبير وثم ايضا  
 محور ثالث عمودى على الاثنين السابقين لا مانع من تسميته بالمحور المتوسط  
 تكون له هذه الخاصية وهى ان مقدار ايتريه يكون في جهة  $\overline{ك د}$  كبيرا  
 مهما امكن وفي الاخرى صغيرا مهما امكن وهذا بالنسبة للمحورين  
 المعتدلين اولا فى المستوى الحاصل بين هذا المحور الثالث ومحور الايتري  
 الصغير وثانيا فى المستوى الحاصل بين المحور الثالث ومحور الايتري  
 الكبير وهذه المحاور الثلاثة الشهيرة هى المعروفة بالمحاور الاصلية للجسم  
 وهى التى لوحظ من اجلها فيما سبق انه فى اى جهة تكون موازية لمحور  
 الجسم او عمودية عليه لا تكون القوى المبعدة عن المركز مؤثرة تأثيرا يتغير به  
 وضع المحاور المذكورة

وينتج من ذلك ان الجسم المتحرك دفعة واحدة حول احد محوري دورانه الاصليين يكون ملازما دائما لتحركه حول هذا المحور اذ ليس هنالك قوة مبعدة عن المركز تؤثر في جهة ما حتى يصرف وضع الجسم بالنسبة للمحور المذكور ويؤخذ من ذلك في آلات الدوران التي يلزم أن يكون محورها ثابتا ان احد محاور الاينرسي الاصلية يكون محور دوران للاجزاء الدائرة فاذا كان الجسم الذي كشافته واحدة في سائر اجزائه منتبيا بسطح دوران وكان هذا الجسم ممثالا بالنسبة لمحور السطح المذكور ظهر لك بالسهولة عند تدوير الجسم حول هذا المحور ان القوى المبعدة عن المركز لا يحصل منها تأثير يغير وضع محور الدوران وحيث ان يكون هذا المحور من محاور الجسم الاصلية

وسيا في عند ذكر آلات الدوران التي هي البكر والمنجنيق والمعطاف ونحوها انه يلزم أن يكون للاجزاء المتحركة صورة سطح دوران يكون محوره محور الدوران اجتنابا لما لا فائدة له من تأثير القوى المبعدة عن المركز ثم ان نقط جميع الاجسام التي لها محور تماثل تكون موضوعة مثنى في بعد واحد من المحور على العمود النازل عليه فاذا ادير الجسم حول محور تماثله فان كل نقطتين موضوعتين بهذه المثابة يكونان مدفوعتين بقوتين مبعدتين عن المركز متساويتين ومتضادتين فاذن تكون هذه القوى معدمة لبعضها مثنى ولا يحدث عنها تأثير ما على المحور وبناء على ذلك كلما دار جسم حول محور تماثله لم أن يستمر على تحركه حول هذا المحور اذا خلى ونفسه وهذا هو تأثير تحرك الدوامه وما شاكلها مما يدور حول محور تماثله الموضوع وضعا رأسيا وتستمر الدوامه على التحرك مع الانتظام بعد أن تدفع دفعة اولية بواسطة جبل او نحوه او بإدارة اسفلها بالايهام والسبابة ثم تخلى ونفسها

وقد بينا سابقا على أن النجفات تكون ممثالة بالنسبة للمحور الرأسي المارة بنقط تعليةها وهذا يمكن دورانها بلا معارض حول هذا المحور بدون



أن تميل الى جهة أكثر من أخرى وهذا التأثير يمكن مشاهدته في البضات  
لا سيما اذا كانت معلقة في قباب مرتفعة

وفي آلات الدوران وهي الخيول والكراسي المصنوعة من الخشب تكون تلك  
الخيول أو الكراسي المعدة لركوب الأشخاص الذين يلعبون لعبة الخاتم  
موضوعة بالتماثل حول محور الدوران الرأسى وبناء على ذلك اذا حركت  
هذه الآلات فانها تستمر على تحركها بدون أن يحصل من انبرسها جهد  
من كلتا جهتي المحور

وقد تنقل قوة  $\overline{م ق}$  مع سرعة  $\overline{ق}$  جسم  $\overline{م}$  المقروض انه لا معارض له  
تقلا مستقيما فاذا وقعنا قوة  $\overline{م ق}$  المذكورة على جسم  $\overline{م}$  المقروض  
انه ثابت بالمحور وكانت  $\overline{ل هـ}$  هي بعد القوة عن هذا المحور يلزم أن  $\overline{م ق ل}$   
وهو مقدار القوة بالنسبة للمحور يكون مساويا  $\overline{ا م} (\overline{د} + \overline{ك}) = \overline{ا}$   
مضروبا في مقدار انبرس الجسم بالنسبة للمحور

واذا فرضنا ان الجسم موضوع على وجه بحيث يدور حول محوره بدون  
أن يقع عليه ضغط في جهة ما فان هذا الجسم يتحرك كالمكان لا معارض له  
ويكون لمركز ثقله سرعة تساوى  $\overline{ق}$  وهي مبينة بخط  $\overline{د ا}$  فاذاً يكون  
 $\overline{ق} = \overline{د ا} \text{ و } \overline{م ق ل} = \overline{م د ا ل} = \overline{ا م} (\overline{د} + \overline{ك})$   
وينتج من ذلك أن

$$\overline{د ل} = \overline{د} + \overline{ك} \dots\dots\dots \overline{ل} = \overline{د} + \frac{\overline{ك}}{\overline{د}}$$

ويطلق مركز الدوران على نقطة من نقط امتداد اقصر بعدد من المحور

عن مركز الثقل في  $\frac{\overline{ك}}{\overline{د}}$  تكون على بعد  $\overline{د} + \frac{\overline{ك}}{\overline{د}}$

من مركز الثقل عن المحور ومعنى اثرت قوة في هذه النقطة تأثيرا عموديا على  
هذا المستقيم اى المحور فانها تدوير الجسم بدون أن تدفع المحور الى جهة ما

فأذن تكون القوة المساوية والمقابلة لها معدمة لقوة الدوران الحادثة  
عن القوة الاولى بدون أن يحصل منها أدنى ضغط على المحور وهذه هي خاصية  
مركز الدوران ويمكن  $\frac{K}{d} = \frac{K'}{d'}$  و  $\frac{K}{d} = \frac{K'}{d'}$  و  $\frac{K}{d} = \frac{K'}{d'}$  و  $\frac{K}{d} = \frac{K'}{d'}$   
ويعلم من ذلك أنه يمكن نقل المحور بالتوازي لنفسه حتى يمر بمركز الدوران  
وحينئذ يتقل مركز الدوران الى الطرف الآخر من  $d$  على المحور القديم  
وفي هذا النقل المنعكس فائدة جليلة

\*(بيان البندول)\*

إذا ربطنا في طرف خيط رقيق خفيف جدًّا جسمًا ثقيلًا لكنه صغير الحجم  
ككلمة من حديد أو رصاص أو بلاتين (وهو الذهب الأبيض) وربطنا  
طرفه الآخر في نقطة ثابتة كان للكلمة في حالة السكون وضع يكون فيه الخيط  
رأسيًا ويكون مركز ثقلها في الاتجاه الرأسى للخيط المذكور وهذا هو  
البندول المعروف أيضًا بالشاقول (راجع الدرس الرابع من هذا الجزء  
شكل ١٨ مكرر) ثم إن أهمية الشاقول المتحرك والشاقول الساكن  
واحدة في الاستعمال فإذا أبعدها الشاقول عن الخط الرأسى كان ثابتًا  
في نقطة  $\theta$  وامتدًا ومما ينبغي التنبيه عليه أنه إذا خلى الجسم نفسه  
وقطع النظر عن المقاومات المتنوعة يأخذ ثقل  $A$  (شكل ١٣)  
في الهبوط بسرعة غير محسوسة تزايد شيئًا فشيئًا عندما يقرب هذا الثقل  
لمار بنقط  $A$  و  $A'$  و  $A''$  من خط  $\theta$  الرأسى فإذا وصل الى  
هذا الخط استقر على سيره وارتفع من  $A$  و  $A'$  و  $A''$  الى  $A$  أعني يكون  
في ارتفاع نقطة  $A$  ومتى وصل الى هذا الحد أخذ في الهبوط ثانية من  $A$  الى  $A'$  الى  $A''$   
كما هبط من  $A$  ثم يرتفع ثانية الى  $A$  كما ارتفع الى  $A$  ثم يهبط  
في نقطة  $A$  ليهبط كالكرة الاولى وهكذا بالتوالي الى ما لانهاية  
ويمكن بقواعد الميكانيكا إثبات قوانين الحركة المترددة المعروفة بتحرك الارنباج

ويطلق اسم البندول على الشاقول اذا استعمل لاحداث رجات بدلا عن استعماله للدلالة على الخط الرأسى

وفي كل لحظة من هبوط البندول بالابتداء من  $\bar{A}$  الى  $\bar{O}$  يحدث من جذب الارض دفعة جديدة لهذا البندول ليقترب من مركز الارض وبالتحاد هذا الجذب مع القوة المماسية  $\overline{AO}$  تنسبة تحدث بحلة شديدة لاحد لها بدون تأثير خيط  $\bar{AO}$  الذى يحدث منه تأثير قوة مركزية

ولترمز بخط  $\bar{AG}$  (شكل ١٤) الى تأثير التناقل وبمستقيم  $\bar{AS}$  الى القوة المماسية المتكسبة من الشاقول عند وصوله الى  $\bar{A}$ . ولكن  $\bar{AG}$  رمز الى القوة المركزية فيحصل معنا اولان  $\bar{AG} = \frac{\bar{AS}}{\bar{AO}}$  وثانيا ان

قوى  $\bar{AG}$  و  $\bar{AS}$  يتحدان مع قوة  $\bar{AO}$  المماسية بأن تسقط  $\bar{AG}$  على  $\bar{AG}$  من محاس الدائرة في نقطة  $\bar{A}$  ثم نضيف هذا المسقط وهو  $\bar{AG}$  الى  $\bar{AS}$  اذا كان البندول هابطا او نطرحه منه اذا كان صاعدا ثانيا وحيثئذ تحدث معنا القوة المماسية عقب الزمن الذى يكون فيه البندول معدا لقطع قوس يساوى  $\bar{AS}$

وهذا يؤدى الى اتساع صعود البندول في ازمنة واحدة ونطرح الكميات التى اضعفناها الى القوة المبعدة عن المركز وحيثئذ تكون هذه القوة عند الهبوط والصعود واحدة في النقط التى على بعد واحد من النقطة المنخفضة عنها وينبئ على ذلك أن هذه القوة اذا انعدمت من جهة انعدمت من الجهة الاخرى في ارتفاع واحد

وعلى ذلك فالنظريات تثبت ما دلت عليه التجربة من تساوى صعود البندول وهبوطه وتماثلهما

وهناك خاصية اخرى عظيمة جدا تتعلق بالبندول وهى ان المدة الكلية للرجتين الصغيرتين تكون واحدة تقريرا وان كان القوس المقطوع في احدى

هاتين الرجتين ضعف القوس المقطوع في الرجة الاخرى مثني او ثلاث او رباع  
وهكذا مهما كانت نسبة القوسين المقطوعين

ولاجل البرهنة على هذه الخاصية نفرض بندولين كيندولي  $\overline{شأ}$  و  $\overline{شا}$   
متساويين (شكل ١٥) و (شكل ١٦) مختلفي البعد من المستقيم

الرأسي في مبدا الرجة وليكن تأثير التثاقل الميين في هذين الشكلين برمز  $\overline{ارغ}$

$= \overline{ارغ}$  حاصل واحد في المدة الاولى فاذا اسقطنا  $\overline{ارغ}$  في  $\overline{ارغ}$  على

قوس  $\overline{اق}$  و  $\overline{ارغ}$  في  $\overline{ارغ}$  على قوس  $\overline{ان}$  كان  $\overline{ارغ}$  و  $\overline{ارغ}$   
هما القوتان المماسستان

ولمتمد خطي  $\overline{اص}$  و  $\overline{اصه}$  الاقسين الى خطي  $\overline{شق}$  و  $\overline{شق}$

الرأسيين فاذا فرضنا ان مثلث  $\overline{ارغ}$  صغير جدًا وامكن جعل قوس

$\overline{ارغ}$  عمودا على  $\overline{ارغ}$  وكذلك على  $\overline{شا}$  فان مثلثي  $\overline{اشص}$

و  $\overline{ارغ}$  القائمي الزاوية يكونان متشابهين حيث ان ضلعيهما المتقابلين  
عمودان على بعضهما

وقد يبرهن بمثل ما تقدم (شكل ١٦) على ان مثلثي  $\overline{اشص}$  و  $\overline{ارغ}$   
القائمي الزاوية يكونان متشابهين فاذن يحدث هذان التناسبان وهما

$$\overline{اش} : \overline{ارغ} :: \overline{اص} : \overline{ارغ}$$

$$\overline{اش} : \overline{ارغ} :: \overline{اصه} : \overline{ارغ}$$

لكن حيث ان  $\overline{اش}$  و  $\overline{اش}$  متساويان وكذلك  $\overline{ارغ}$  و  $\overline{ارغ}$  فانه يحدث

ايضا هذا التناسب وهو  $\overline{اص} : \overline{ارغ} :: \overline{اصه} : \overline{ارغ}$

فإذا فرضنا الآن ان الرجة تكون قليلة الامتداد جدًّا فان الفاضل بين  
اص وقوس اق يكاد يكون معدوماً وكذلك فاضل اصه وقوس  
 ان وعلى ذلك تكون المسافة المقطوعة في الوقت الاول مناسبة تقريبا  
 لامتداد قوس اق و ان

ويبرهن ايضا بوجه تقريبي على ان السرعة المماسية تزداد عقب الوقت الثاني  
 والثالث والرابع والخامس وبناء على ذلك تكون المسافة التي يقطعها البندول  
 الاول والثاني في كل من هذه الاوقات مناسبة للقسي المعدة لسير البندول  
 وعلى ذلك متى كانت المسافة الباقية التي لم يقطعها البندول الاول معدومة  
 كانت المسافة الباقية التي لم يقطعها البندول الثاني معدومة ايضا وحينئذ  
 يصل البندولان في زمن واحد الى اعظم رجة فاذن يكون للرجات مدة واحدة  
 اذا قطع النظر عن الفاضلات الصغيرة جدًّا

ويكون لهذه الخاصية الاخيرة منفعة عظيمة في الفنون وعلوم الرصد في حالة  
 ما اذا تحرك البندول وخلى ونفسه وعارضت مقاومة الهواء بجميع حركاته  
 وابطأتها بالتدريج وبذلك تنقص مسافة الرجات لكن لم تزل مدتها واحدة

فإذا كان البندول ثقيلًا جدًّا كالرصاص او البلاطين كانت المقاومة التي  
 تعرض لهذا الجسم ضعيفة لا تغير مدة رجاته الا تغيرا قليلا فيكون معظم  
 هذه الرجات باقيا تقريبا على مدته الاصلية غير أن تكرر الرجات المستمر المعرض  
 لمقاومات الهواء الصغيرة ينقص بالتدريج مسافة الرجات ومع ذلك كله  
 تكون تلك الرجات متساوية تقريبا وزيادة على ذلك ينقص الفاضل الصغير

الموجود بين المدد المتتالية بحسب مخالفة هذه الرجات للرجة الاصلية  
 ثم ان الاجسام تكون سريعة الوقوع اذا كان مبدؤها وقوعها من نقط قريبة  
 من مركز الارض وقد علمنا سبق أن المسافتين الرأسيتين اللتين يقطعهما الجسمان  
 الخليان وانفسهما للتناقل بدون معارض تكونان على نسبة منعكسة من  
 مربعي بعديهما عن مركز الارض

وعلى ذلك متى كانت اطوال البندولين على نسبة منعكسة من مربع بعد  
البندول عن مركز الارض فان رجاء هذين البندولين تكون حاصلة في زمن  
واحد

وقد دلت الارصاد الفلكية وقياس الارض دلالة هندسية على أن الكرة  
الارضية مسطحة من جهة القطبين لان سكان الارض اذا قربوا من القطب  
قربوا ايضا من مركز الارض وبموجب ذلك اذا كان الانسان في جهة  
القطب فانه يرى البندولين اللذين تحدث رجاءتهما في زمن واحد اطول  
مما اذا رآهما وهو في خط الاستواء فحينئذ اذا كان مبدء السير من خط  
الاستواء لزم ان البندول يتزايد بالتدريج كلما قرب الانسان من القطب  
لتكون مدة الرجاء واحدة وزيادة على ذلك يكون طول البندول مبينا  
في كل مكان لبعده عن مركز الارض عن النقطة التي يدق فيها ذلك البندول

وبدوران الارض ينعدم من تناقل الاجسام جزء صغير لتتعدل قواها  
المبعدة عن المركز وتثبت تلك الاجسام على سطح الكرة وهذه القوة التي  
لا وجود لها في القطب تبلغ نهايتها الكبرى في خط الاستواء

وبملاحظة سببي التغير معانعلم مطابقة العلم للتجربة ولله در المهندس بوردا فانه  
لمهارته اخترع بندولا منتظما بواسطته يحصل مع غاية الضبط قياس  
ابعاد مركز الارض عن نقط سطحها التي يتألف منها الخط الجانبي  
الذي ينبنى على قياسه الطريقة المترية ثم ان ما وقع بين النتائج الحادثة  
في موضوعنا هذا من علم الهندسة والميكانيكا من غريب التوافق والاتحاد  
هو من اعظم الشواهد على ما للعلوم من القوة من حيث الاستعانة ببعضها  
على فهم غوامض البعض الاخر ومن حيث انه يتوصل بها الى صحة الظنيات  
التي لا يخلو عنها كل علم وتقدمها في سلك الطرق المتحددة المآل التي لا يوجد فيها  
الخطأ الا نادرا بحيث تكون مثلها في القطع بعينها

وعوضا عن أن نفرض أن التناقل يتغير فنرض أن طول خيط التعليق هو الذي  
يتغير ونفرض بندولين غير متساويين كـ بندولي ثا و ثا

(شكل ١٧ و ١٨) يحدث هذا التناسب وهو

$$\text{ا} : \text{ا} :: \text{م} : \text{ا}$$

فاذا كان زيادة على ذلك نسبة قوس  $\text{ا} : \text{قوس ا} :: \text{م} : \text{ا}$

كان شكلا  $\text{ا} : \text{ا} :: \text{م} : \text{ا}$  متساويين

ولكن  $\text{ا} : \text{ا}$  هي المسافة التي تقطعها في زمن  $\text{ط} = ١$  بواسطة

التناقل نقطة  $\text{ا}$  المادية المفروض انه لا معارض لها وليكن  $\text{ا} : \text{م} =$

$\times \text{ا}$  فيكون  $\text{ا} : \text{ا}$  حيث ندلا على المسافة التي يجبر تأثير التناقل جسم  $\text{ا}$

المفروض انه لا معارض له على قطعها في اوقات عدد  $\text{م}$  (وحرف  $\text{م}$  يدل على عدد غير محدود)

ولنسط  $\text{ا} : \text{ا}$  في  $\text{ا} : \text{ا}$  و  $\text{ا} : \text{ا}$  في  $\text{ا} : \text{ا}$  فيحدث من مثلث  $\text{ا} : \text{ا} : \text{ا}$

و  $\text{ا} : \text{ا}$  المتساويين هذا التناسب وهو

$$\text{ا} : \text{ا} :: \text{ا} : \text{ا} :: \text{ا} : \text{ا} :: \text{ا} : \text{ا} :: \text{ا} : \text{ا}$$

وعلى ذلك فساقتا  $\text{ا} : \text{ا}$  و  $\text{ا} : \text{ا}$  اللتان قطعهما البندولان بواسطة تأثير

التناقل المكرر في زمن  $\text{م}$  بالنسبة للبندول الاول وزمن  $\text{ا}$  بالنسبة

للتاني تكونان مناسبتين لقومي  $\text{ا} : \text{ا}$  و  $\text{ا} : \text{ا}$  فيتحرك حيث ند البندولان

بالتناسب على قوسي  $\text{ا} : \text{ا}$  و  $\text{ا} : \text{ا}$  بحيث تكون ازمنا البندول الاول  $\text{م}$

حين تكون ازمنا الثاني  $\text{ا}$  فاذا تكون نسبة الزمنين الكليين اللذين

استغرقتهما البندولان في الوصول من اعلى نقطة الى الخط الرأسي الى بعضهما

كنسبة  $\text{م} : \text{ا}$  متى كانت نسبة طول البندول الى بعضهما  $\text{م} : \text{ا} :: \text{ا} : \text{ا}$

يعني انه في الحمل الواحد من الارض تكون اطوال البندولين غير المتساويين

مناسبة لمربعي الزمنين اللذين استغرقتهما هذان البندولان في أحداث رجائهما

وأول من عرف قانون تحولات البندولات هو المهندس الشهير غاليليه صاحب الاستكشافات الطيفية في ميكانيكا التأخرين وقد أجرى في ذلك عملية عظيمة تتعلق بقياس ارتفاع القباب والقنوات

وقد جرت العادة بأنه يعلق في الهياكل والسرايات بأعلى نقطة من القباب والقنوات نبضات ذات ثقل عظيم بالنسبة للعبيل أو السلسلة المعلقة هي بها ويكفي في أحداث ارتجاج هذه البندولات العظيمة أدنى شيء من الهواء وقد لاحظ المهندس غاليليه مدة هذه الارتجاجات فرأى أن المدة التي يرتج فيها بندول النخبة الواحدة عشر مرات مثلاً لا يرتج فيها غيره إلا مرة واحدة وحيث أن مربع العشرة أي عشرة مضروبة في مثلها يساوي مائة يكون البندول الأول أطول من الثاني مائة مرة فإذا كان طول البندول الصغير معلوماً فإنه يحدث بأخذه مائة مرة طول البندول الكبير وبذلك يعلم الارتفاع الذي يكون لمفتاح القبة أو القبة فوق النخبة التي لتقربها من الأرض يسهل قياس ارتفاعها وعلى ذلك يمكن استعمال البندول في قياس الزمن بواسطة تساوي مدة رجائه الصغيرة ويمكن استعماله أيضاً في قياس الارتفاعات بواسطة زيادة تلك المدة أو نقصانها

وقد صرف طول البندول الذي يذب الثواني الستينية برصدخانه مدينة باريس معرفة دقيقة فكان مقداره من الأمتار ٩٩٣٨٢٦٧ و ٢ على ذلك لو انعدمت أصول الأقيسة الفرنسية بمجادة من حوادث الزمان وتقلبات الدهر حتى صارت خفية على العقول لا يمكن معرفة طول المتر بمجرد النظر إلى البندول الذي يذب الثواني بمدينة باريس

ولو عرف الرومان واليونان مثل هذه الطرق الناشئة من العلوم لبقيت جميع أقيستهم عندنا إلى الآن ولما بقي من المسائل التي لا يتمها في العلوم والفنون والحرف مسألة بلا حل وبيان ولنطلب في الكلام على هذا الأمر المهم الخاص بالعلوم التي بها يتوصل



الى ضبط اشغال الانسان وان كان الزمن متقلبا غير مضبوط وبسببها تنشط الارصاد والاشغال الوقفية بمحركة الزمن المستمرة وقطع المسافات الارضية التي لا تتغير وبذلك تتحقق ثمرات مشروعات الانسان ويتخلد ذكره على عمر الازمان فتقول

ان الساعاتية اخترعوا امر ابداعيا يتعلق بالپندول وهو صناعة الآلات الدالة على الزمن المعروفة بالپندولات

ولنفرض دائرة معدنية محدبة من جهة المركز على هيئة العدسة فلذا سميت بالعدسة ونعلقها في قضيب يكون متجها الى مركزها فاذا حركت حول الطرف الآخر من القضيب المذكور حدث عن ذلك پندول كالذي يستعمله الساعاتية

وكل درجة من درجات هذا الپندول الحاصلة في ازمة منسوبة الى الموازنة للسير الثابت للپندول او الساعة الدافقة تكون بمنزلة المحافظ للقوى والمنظم لها ولا تكون هذه الآلة مضبوطة الا اذا كانت لا تتغير ابعاد المادة التي تتركب هي منها حيث ان القضيب المعدن لتعلق العدسة يمتد بواسطة تأثير الحرارة وينكمش بواسطة تأثير البرودة وبذلك تكاد مدة درجات الپندول تتغير دائما وقد صنعوا پندولات تعديل وهي پندولات تتعادل فيها تغيرات اطوال الاجزاء المتوقعة المركبة لها

وقد بين انه كلما زادت الحرارة امتدت قضبان النحاس بنسبة معلومة اكثر من قضبان الحديد وكلما نقصت الحرارة انكمشت تلك القضبان بنسبة معلومة اكثر منها ايضا وبموجب ذلك استعملوا للتعلق عوضا عن قضيب واحد عدة قضبان بعضها من الحديد وبعضها من النحاس

ولنفرض قضيبا من الحديد كقضيب أ ب (شكل ١٩) فجعل في نهايته السفلى عارضة افقية كعارضة ث د عليها قضبان رأسيان من النحاس كقضبي ث هـ و د ف وعارضة اخرى افقية يمتصها طوق يمر منه قضيب أ ب يجمع بين قضبي النحاس المذكورين ويكون

في تقطعي  $\overline{ك}$  و  $\overline{ل}$  التين هما نهايتا العارضة المذكورة قضيبان  
 من حديد قضبي  $\overline{ك م}$  و  $\overline{ل ن}$  مجتمعان معا بواسطة عارضة  
 $\overline{م ن}$  ومثبتان في عدسة  $\overline{و}$  فيثبت علم ان ازدياد الحرارة في هذه الحالة  
 على قضبي الحديد وهما  $\overline{أ ب}$  و  $\overline{ك م}$  اللذين على ارتفاع  $\overline{أ ع}$   
 الحقيقي يزيد تباعد نقطة التعليق وهي  $\overline{أ}$  عن مركز العدسة زيادة مناسبة  
 لارتفاع  $\overline{أ ع}$  المذكور وأن قضبي النحاس وهما  $\overline{ث ه}$  و  $\overline{د ف}$   
 عند امتدادهما بواسطة تأثير الحرارة يرفعان عارضة  $\overline{ك ل}$  ويرفعان  
 ايضا في زمن واحد قضبي الحديد وهما  $\overline{ك م}$  و  $\overline{ل ن}$  وكذلك  
 عدسة  $\overline{و}$  المعلقة فيهما فتكون الكمية التي ترتفع بقدرها العدسة بواسطة  
 تأثير قضبي النحاس مناسبة لطول  $\overline{ه ث}$  او  $\overline{د ف}$  وينتج من ذلك  
 انه اذا كان طول  $\overline{أ ع}$  و  $\overline{ه ث}$  مناسبين لامتداد النحاس في الاول  
 والحديد في الثاني يكون مركز العدسة منخفضا بامتداد الحديد بقدر الكمية التي  
 يرتفع بها المركز المذكور بامتداد النحاس وما فرضناه في ازدياد الحرارة يمكن  
 فرضه ايضا في قصانها فتكون الكمية التي يرتفع بقدرها مركز العدسة بانكماش  
 قضبي الحديد مساوية للكمية التي يخفض بقدرها مركز العدسة بتأثير  
 انكماش قضبي النحاس

وقد فرضنا في جميع ما ذكرناه أن البندول ليس الا خطا مجردا عن التناثر  
 معلقة بنهايته نقطة مادية لها ثقل ما ولكن ليس في الطبيعيات بندولات بهذه  
 المثابة فاذا استعمل في ذلك لين او قضيب غير لين كان لسلك من اجزائه  
 ثقل معلوم وحجم معلوم وكذلك الجسم المعتبر نقطة مادية له ثلاثة ابعاد تمنع  
 التماسه بالنقطة المادية المذكورة ولا بد من معرفة القوانين التي تكوّن  
 بمقتضاها رجات هذا البندول المعروف بالبندول المركب

ولنعلق في نقطة واحدة من محور واحد بندولين متساويي الجسم احدهما  
وهو  $\overline{ش}$  وبسيط (شكل ١٤) والاخر هو  $\overline{ش د ه ف}$   
مركب فقي استقر هذان البندولان صار ساق البندول البسيط رأسيا  
ومازّا بمركز ثقل البندول المركب

ولندفع هذين البندولين بقوة اقوية مؤثرة على بعد كبعد  $\overline{ر}$  عن المحور  
فيكون تأثير التثاقل معدوما بالمحور في الزمن الاول ليكون للبندولين سرعة  
واحدة منزوية وينبغي أن يكون مركز دوران البندول المركب متباعدًا  
عن المحور بكمية  $\overline{ر}$  المساوية لطول البندول البسيط فاذن يكون

$$\overline{ر} = \overline{د} + \frac{\overline{ش}}{\overline{د}}$$

ولنجث عن التأثير الذي يحدثه التثاقل على البندولين عند تباعدهما  
عن المستقيم ارامى فنقول

لنفرض أن التثاقل يؤثر من مبداء الامر على  $\overline{غ و}$  (شكل ١٢)  
الذي هو ساق البندول البسيط المارد اثما بنقطة  $\overline{غ}$  التي هي مركز ثقل

البندول المركب وايكن  $\overline{ول} = \overline{ع}$  هو الارتفاع الرأسي  
الذي نقيس به تأثير التثاقل في البندولين في زمن يسير كزمن  $\overline{ط}$  ونحلل

$\overline{ول و غ ع}$  الى  $\overline{ول و ع}$  لتحللا عموما على  $\overline{ش غ و}$   
فيكون تأثير التثاقل الحاصل على مركز ثقل البندول المركب ميبنا بخط

$\overline{ع}$  وتأثير التثاقل الحاصل على البندول البسيط ميبنا بخط  $\overline{ول}$

$= \overline{غ ع}$  لكن حيث كانت نقطة  $\overline{و}$  موجودة في مركز دوران البندول

المركب فان قوة  $\overline{غ ع}$  المنقولة الى  $\overline{ول}$  تدبر البندول كما اذا كان

في نقطة  $\overline{و}$  اى كالمو استبدل البندول البسيط بالبندول المركب

فأذن تكون السرعة المتزوية الحادثة من التناقل واحدة في كل من البندولين البسيط والمركب وعلى ذلك يكون أولا البندولان البسيطان مستمرين بواسطة تأثيرات التناقل المتوالية على ارتجاعهما بسرعة واحدة وثانياً يكون طول البندول البسيط هو بعد المحور عن مركز الدوران المعروف حيث يتركز الارتجاج فأذن متى اعتبر في بندول مركب أن محور التعليق كمحور الدوران فإن مركز الدوران يمتزج بمركز التعليق ويصيران شيئاً واحداً وقد تقدم أنه متى قل بالتوازي محور الدوران من ث الى و انقل مركز الدوران من و الى ث على مستقيم ش غ و فأذن إذا قل محور تعليق البندول المركب من ث الى و كان مركز الرجة منقولا من و الى ث وموجودا على محور التعليق الأول وقد استعملوا هذه الخاصية في تعيين وتحقيق طول البندول البسيط الذي تحصل رجانه في زمن حصول رجات البندول المركب ثم إن البندولات المركبة وأوضاع مراكز ثقلها ومحاور تعليقها ومراكز ارتجاعها هي من اعظم المهمات في صناعة الساعات الدقيقة وغيرها من الآلات ذات التحرك المتعدد لاسيما تحرك السفن عندها من جانب الى آخر أو من المتقدم الى المؤخر وسيأتي في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند الكلام على قوة الماء توضيح ذلك بآتم وجه

\*( بيان معادل الآلات البخارية ) \*

في صناعة آلات الدوران التي تختلف فيما شدة القوة كالبخار على حسب تغير النار المستعملة تستعمل البندولات المركبة لتفتح بالتدرج مسلكا للبخار عندما يحدث منه ضغط يبلغ حد النهاية بحيث لو تجاوز ذلك لكان خطرا ومثال ذلك كرتان من حديد ملحومتان بقضيين من حديد أيضا يرتجان على محور أفقي يمز باسطوانة رأسية فإذا دارت هذه الاسطوانة حدث من دورانها قوة مبعدة عن المركز لكل من البندولين المركبين اللذين يدوران معها

بواسطة هذه القوة ويرتفع كل منهما حتى تكون محصلة هاتين القوتين مارة  
بمحور التعليق وبذلك تكون معدومة وحيث كانت هاتان الكرتان اللتان  
مجمعهما واحد الموضوعتان على وجه متماثل بالنسبة للمحور يرتفعان  
ويخفضان في كل وقت بكمية واحدة فان الطوق الذي يدور بدون مانع  
حول الاسطوانة يكون معلقا بقضيبين متصلين بساقي البندولين فاذا ن يكون  
هذا الطوق عرضة تارة للصعود واخرى للهبوط على حسب قرب الكرتين  
وبعدهما عن المحور وقد يحرّك هذا الطوق ذراع الرافعة الذي يفتح او يغلق  
كثيرا او قليلا المنفذ الذي يخرج منه البخار المتراكم ( كما ستقف على ذلك  
في الجزء الثالث من هذا الكتاب عند ذكر القوى المحركة )

\*( الدرس الثامن ) \*

\*( في بيان الرافعة ) \*

قد ذكرنا جميع ما يتعلق بتحويل التحركات الحادثة بواسطة الجبال اللينة جدا التي  
لا فائدة لها الا مجرد الشد بخلاف القضبان الغير القابلة للاثناء فان لها  
فائدتين وهما المدفع والشد

وهناك عدة آلات ليس الغرض منها الا أن تستعمل واسطة بين القوة والمقاومة  
التجهتين على مستقيم واحد كيد المسحمة ( شكل ٢ ) وكاشة المدفع  
( شكل ٣ ) في فن الطوبجية وكخطاف البحارة وسيقان المكابس ونحوها

ولا يشترط في القضيب الغير القابل للاثناء كقضيب  $\overline{AB}$  ( شكل ١ )  
أن يكون مستقيما بل يكفي أن تكون صورة انحنائه ثابتة لا تتغير فاذا وقعنا  
على نقطة  $B$  قوة تشد او تدفع في جهة  $\overline{BA}$  او  $\overline{AB}$  فان تأثير هذه  
القوة يكون واحدا دائما كالوكان القضيب مستقيما

والرافعة قضيب غير قابل للاثناء مستند على نقطة ثابتة تعرف بنقطة  
الارتكاز وواقع عليه في نقطة ثانية تأثير قوة لاجل ابطال مقاومة حاصلة  
في نقطة ثالثة وهي على ثلاثة انواع

النوع الاول ( شكل ٥ ) تكون فيه نقطة الارتكاز وهي  $A$  موجودة

بين قوة  $\overline{ح}$  ومقاومة  $\overline{ر}$

والنوع الثاني (شكل ٦) تكون فيه مقاومة  $\overline{ر}$  موجودة بين قوة

$\overline{ح}$  ونقطة الارتكاز وهي  $\overline{أ}$

والنوع الثالث (شكل ٧) تكون فيه قوة  $\overline{ح}$  موجودة بين مقاومة  $\overline{ر}$

ونقطة الارتكاز المذكورة

ولنفرض أن الرافعة المجردة عن التثاقل تكون قضيبا مستقيما كقضيب

$\overline{بأث}$  (شكل ٥) أو  $\overline{بثأ}$  (شكل ٦) أو  $\overline{أبث}$

(شكل ٧) العمودي على اتجاه القوة والمحصلة

فلا يمكن انعدام جهد قوة  $\overline{ح}$  ومقاومة  $\overline{ر}$  إلا بنقطة الارتكاز

وهي  $\overline{أ}$  الثابتة في الآلة دون غيرها فاذن تكون محصلة  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$

مارة بنقطة  $\overline{أ}$  واذن يكون

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

اعني أن القوة مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز تكون مساوية للمقاومة

مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز أيضا

فاذا استبدلنا رافعة  $\overline{بأث}$  العمودية على اتجاه قوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$

برافعة أخرى مائلة مضمّنة أو مستقيمة كرافعة  $\overline{سأث}$  لزم أن تكون المحصلة

دائما مارة بنقطة  $\overline{أ}$  ومن ذلك يحدث

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

وليس  $\overline{أب}$  و  $\overline{أث}$  إلا مستقيمين وهميين عمودين على اتجاه قوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$

ولاجل اختصار العمليات يمكن أن نفرض دائما أن كل ذراع من الرافعة

يكون مستقيما وعمودا على اتجاه القوة الواقعة على طرفه

ولنفرض قوتين متساويتين كقوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  (شكل ٨) عموديتين

على  $\overline{أب}$  و  $\overline{أث}$  المتساويين اللذين هما ذراعا رافعة  $\overline{بأث}$

المنكسرة فتكون هاتان القوتان مؤثرتين في جهتين متضادتين بحيث يدبران

الرافعة حول نقطة الارتكاز وحيث كان التساوي حاصلًا في كلتا الجهتين

وكانت الآلة متوازنة فإن هذا التوازن يبقى على حاله مهما كان مقدار

زاوية  $\overline{ب\alpha\theta}$ 

ولتكن الآن قوة  $\overline{ر}$  مساوية ومقابلة لقوة  $\overline{ر}$  فتكونان متوازيتين  
 وحيتئذ تؤثر قوة  $\overline{ر}$  على مقاومة  $\overline{ر}$  كتأثير قوة  $\overline{ح}$  عليها فإذا ن تكون  
 $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  المتساويتان الواقعةان على طرفي ذراعي الرافعة المتساويين  
 وهما  $\overline{أب}$  و  $\overline{أ\theta}$  لهما شدة واحدة بهاتين نقطة  $\overline{أ}$  الثابتة

مثلا إذا اشرفنا بمستقيم  $\overline{أب}$  لجزء مربوط به فرس يسحب على  $\overline{ح}$   
 فان تأثير الفرس الواقع على نقطة  $\overline{أ}$  يكون واحدا في سائر نقط الدائرة التي  
 يقطعها  $\overline{أب}$  مادام بعد  $\overline{أ}$  عن  $\overline{ب}$  ثابتا على حالة واحدة  
 ولنفرض الآن أن قوتين حيثما اتفق كقوتى  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  (شكل ٩)  
 يكونان واقعيتن على رافعة حيثما اتفق كرافعة  $\overline{ب\alpha\theta}$  فحيث أن  $\overline{أ}$  هي  
 نقطة الارتكاز تدبر  $\overline{أب}$  الى  $\overline{أ\theta}$  بحيث يؤول  $\overline{ب}$  الى  $\overline{ر}$   
 الموازى لخط  $\overline{ش}$  ويلزم أن تكون محصلة قوتى  $\overline{ر}$  و  $\overline{ح}$  مارة دائما  
 بنقطة  $\overline{أ}$  الثابتة ومن هنا يحدث

$$\overline{ر} \times \overline{أ\theta} = \overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{أ\theta} \times \overline{أ} = \overline{أب} \times \overline{أ}$$

وعلى ذلك فهما كل اتجاهي القوة والمحصلة يلزم دائما أن تكون القوة  
 مضروبة في بعدها عن نقطة الارتكاز مساوية للمقاومة مضروبة في بعدها  
 عن نقطة الارتكاز أيضا

\*(تطبيق ما تقدم على تحويل الحركات)\*

إذا اريد بواسطة الحبال تحويل تحرك الى اتجاهى  $\overline{ب}$  و  $\overline{ش}$   
 المتغايرين فانه يستعمل لذلك رافعة منكسرة كرافعة  $\overline{ب\alpha\theta}$   
 (شكل ٩) و (شكل ١٠) يربط بها حبلان او سلسلتان او جزيران  
 او سلكان معدنيان مثل  $\overline{ب}$  و  $\overline{ش}$  وتكون نقطة  $\overline{أ}$  التي هي  
 رأس زاوية  $\overline{ب\alpha\theta}$  ثابتة على محور صغير تدور حوله الرافعة وهذه النقطة  
 هي نقطة ارتكاز الرافعة المذكورة

فاذا اقتضى الحال تحويل  $\overline{تحرّكات}$  صغيرة فانه بواسطة  $\overline{شد سلك ح}$  (شكل ١٠) تنتقل  $\overline{ب}$  الى  $\overline{س}$  ويكون قوس  $\overline{ب س}$  مغايرا قليلا لجزء من مستقيم  $\overline{ب ح}$  وبناء على ذلك لا يتغير اتجاه  $\overline{س ح}$  ولا اتجاه  $\overline{سك}$   $\overline{ش}$  المشدود بالذراع الثاني من الرافعة كما ان الذراع الاول منها مشدود بالسلك الاول

وهذه هي الكيفية المستعملة في توجيه السلوك المعدنية الواصلة من الجرس الموضوع بقرية الاماكن التي يكون فيها الخدم الى المكان الذي يكون فيه المنادى وتستعمل السلوك والرافعة المنكسرة في الآلات الكبيرة لاجل تحويل  $\overline{التحرّكات}$  المترددة

ولنفرض ان المطلوب في مجرى المكبس رفع مكبس  $\overline{م م}$  (شكل ١٢) وخفضه بواسطة قوة اقية تشد في اتجاه  $\overline{ب ح}$  من البديهي انه اذا شد  $\overline{سك ب ح}$  في جهة السهم بواسطة الرافعة القائمة الزاوية وهي  $\overline{ب ا ث}$  يرتفع ذراع رافعة  $\overline{ا ث}$  ويرفع مكبس  $\overline{م م}$  واذا اريد ان  $\overline{ث ط}$  الذي هو ساق المكبس يكون دائما على رأسي واحد لزم ان يكون دائما مماسا لقوس  $\overline{ث ث}$  الصلب المرسوم من نقطة  $\overline{ا}$  المأخوذة مركزا

فاذا افلتنا  $\overline{سك ب ح}$  فان نقل المكبس يوصل الرافعة الى وضعها الاصلى ثم يأخذ هذا السلك في التأثير ثانيا لاجل رفع المكبس وقد تطلق  $\overline{التحرّكات}$  المترددة على  $\overline{التحرّكات}$  التي تحصل بالتعاقب في جهتين ويؤخذ من رجات البندول شاهد عظيم على مثل هذه  $\overline{التحرّكات}$

وقد تطبق عملية الرافعة المنكسرة على النشر تطبيقا مفيدا بواسطة علم الميكانيكا

فيصنع منشار  $\overline{د ح}$  (شكل ١٣ مكرر) من نقطة  $\overline{ل}$  بساق  $\overline{د ث}$  ومن نقطة  $\overline{ث}$  بذراع  $\overline{ث ا}$  من رافعة  $\overline{ث ا ب}$  مع تأثير قوة  $\overline{ح}$  على ساق  $\overline{ب ح}$  غير القابل للاثناء فاذا شد  $\overline{ب ح}$  رسم ذراع الرافعة وهو  $\overline{ا ث}$  قوسا وكان المنشار مشدودا من جهة الرافعة



ومع دفع **ب ح** حصل تأثير مضاد وكان النشر مدفوعاً بالرافعة  
ولهذا كان في علم الميكانيكا ما يماثل بين تحرك النشارين (شكل ١٣)  
الذين تكون اعضاؤهما هي **ش ا ب ح ر ض** و **ش ا ح ر ض**  
رافعتين منكسرتين

ويمكن بواسطة الرافعة توازن القوة الكبيرة مع القوة الصغيرة \* مثلاً إذا كانت  
المقاومة اقرب لنقطة الارتكاز من القوة بمائة مرة قطعت بذلك مسافة  
لا تبلغ هذا القدر عند حصول التحرك لزم بمقتضى التعديل أن تكون المقاومة  
أكبر من القوة مائة مرة (فإذا كان حاصل ضرب المقاومة في ذراع رافعتها اقل  
من حاصل ضرب القوة في ذراع رافعتها كان التحرك حاصلًا في جهة القوة  
وكانت الآلة سائرة الى جهة الامام الآن سيرها يكون بواسطة جزء من  
القوة لم ينعقد بالكلية لاجل توازن المقاومة فاذن يلزم طرح هذا الجزء  
مقاريد تحصيل جزء القوة الذي لا بد منه في حصول التحرك)

هذا وقد زعم من لا معرفة له بقواعد علم الميكانيكا مستغراً بالهذه النتيجة  
انه يمكن احداث القوة بواسطة الآلات ومقتضاه انه يمكن بواسطة قوة صغيرة  
ابطال مقاومة متوسطة وحفظ ما يبقى من القوة الكافية لتحصيل التأثيرات  
العظيمة وذلك لان القوة الصغيرة على زعمه توازن القوة الكبيرة

ويكنى في الوقوف على خطأ هذا القول اعتبار تحرك الرافعة فإذا فرضنا  
ان قوتي **ح** و **ر** (شكل ١٠) متوازيتان بواسطة رافعة **ب ا ث**  
ثم زدنا القوة الاولى عن الثانية قليلاً فان التوازن ينعقد ويكون التحرك حاصلًا  
حيث ان ذراع الرافعة وهو **ا ب** ياخذ في الدوران في جهة **ب ح**  
الذي هو انجباء القوة الكبيرة والذراع الاخر وهو **ا ث** يدور في جهة  
**ث ر** المقابلة لهذه القوة المقاومة فيقطعان في وقت ما زاويتين متساويتين  
كزاويتي **ب ا ر** و **ث ا ث** فاذن يكون قوسا **ب ر** و **ث ث**  
الذنان قطعتهما نقطتنا **ب** و **ث** مناسبين لطول ذراعي الرافعة  
وهما **ا ب** و **ا ث** (ولنفرض أن هذين الذراعين يساويان) ونان عمودين

على اتجاه القوتين المقابلتين لهما)

لكن حيث ان  $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{ا} : \overline{ب}$   
 يكون  $\overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{قوس ش} : \overline{قوس ب}$   
 فعلى ذلك تكون قوتا  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  مناسبتين تناسبتهما كسا للقوسين اللذين  
 تقطعهما نقطتا وقوعهما عند فرض اختلال التوازن

وبهذا البرهان يظهر أن القوة الموازنة للمقاومة تكون مجبورة على قطع  
 قوس كبير بقدر صغرها بالنسبة للمقاومة فيلزم حيثئذ أن القوة في المسافة  
 التي قطعها تفقد ما اكتسبته بنفسها لاجل توازن المقاومة فاذن تكون كمية  
 التحرك المقيسة بحاصل ضرب كل قوة في المسافة المقطوعة واحدة في جهة  
 المقاومة بدون اسكان زيادتها فان هذه القاعدة الشهيرة التي ذكرناها عامة  
 في جميع الآلات ولا يمكن فيها أصلا ازدياد كمية التحرك فاذن ثبت استحالة  
 احداث القوة

فاذا اخذنا مدة التحركين الحادثين من تقطع  $\overline{ب}$  و  $\overline{ش}$  وجعلناها  
 وحدة (شكل ١٠) فان مسافتيهما و  $\overline{ب}$  و  $\overline{ش}$  يدلان على  
 سرعتيها ويطلق اسم السرعة المنبهة على السرعة التي تأخذها  $\overline{ب}$  و  $\overline{ش}$   
 اللتان هما تقطعا وقوع القوة والمقاومة اذا اختل التوازن قليلا جدا على  
 حين غفلة ويعبر في الرافعة عن هذا التساوي وهو  $\overline{ح} \times \overline{ب} = \overline{ر}$   
 $\times \overline{ش}$  بأن يقال في حالة التوازن ان القوة مضروبة في سرعتها المنبهة  
 تكون مساوية للمقاومة مضروبة في سرعتها المنبهة

واذا فرضنا أن ذراع الرافعة وهو  $\overline{اب}$  (شكل ١١) مائل بدلا عن كونه  
 عمودا على  $\overline{بح}$  الذي هو اتجاه القوة وادرننا الرافعة قليلا بدرجة زاوية  
 $\overline{بام} = \overline{رام}$  وكان  $\overline{ار}$  عمودا على  $\overline{بح}$  الممتد فحيث ان  
 نصفي القطرين مناسبان للقوسين يحدث هذا تناسب وهو

$$\overline{اب} : \overline{ار} :: \overline{بم} : \overline{رم}$$

فاذا مددنا من نقطة  $م$  مستقيم  $م ن$  عمودا على  $ب ح$  الممتد  
حدث من ذلك مثلثا  $ب م ن$  و  $ا ب ر$  وهما متشابهان حيث ان  
اضلاعهما اعمدة على بعضها ومن ذلك يحدث هذا تناسب وهو

$$ا ب : ا ر :: ب م : ب ن$$

وذلك يقتضى أن  $ب ن = ر م$  وحيث نفعهما كانت  $ب$  التي هي  
نقطة وقوع قوة  $خ$  على ذراع  $ا ب$  فانه عند اختلال التوازن قليلا  
وقياس المسافة التي قطعتها نقطة الوقوع على  $ب م$  الذى هو اتجاه القوة  
تحدث سرعة واحدة منبهة مقومة على هذا الاتجاه فينبذ يكون التوازن  
حاصلا متى حدث عن القوة المضروبة في سرعتها المنبهة المقيسة بالوجه المتقدم  
او عن المقاومة المضروبة ايضا في سرعتها المنبهة المقيسة على الوجه المذكور  
حاصل واحد على اى حالة كانت تقطنا وقوع القوة والمقاومة بفرض أن هاتين  
القوتين يديران الرافعة في جهتين متضادتين

وهذه هي القاعدة الشهيرة المعروفة بقاعدة السرعة المنبهة وليست مختصة  
بالرافعة بل تجرى ايضا في سائر الآلات وجميع ما للقوى من التراكيب  
الوهمية وقد بنى المهندس لاغريج الشهير على هذه القاعدة اصول الميكانيكا  
التحليلية التي جمعها في كتابه الشهير الذى هو من اعظم مؤلفات هذا العلم  
ثم ان محصلة القوتين المتوازيتين على الرافعة اذا انعدمت بنقطة الارتكاز  
تكون مساوية للضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز المذكورة

فاذن ينبغى أولا أنه متى كانت القوة والمقاومة متوازيتين ومتجهتين في جهة  
واحدة كان الضغط الحاصل من الرافعة على نقطة الارتكاز مساويا لمجموع  
القوة والمقاومة

وثانيا متى كانت القوتان مؤثرتين في جهتين متضادتين كان الضغط الحاصل  
من الرافعة على نقطة الارتكاز مساويا لفاضل هاتين القوتين ومتجهها  
الى جهة كبراهما

وعلى ذلك ففي الرافعة التي من النوع الاول (شكل ٥) يكون ضغط  $\bar{r}$  الحياصل على نقطة الارتكاز مساويا لمجموع القوة والمقاومة وفي الرافعة التي من النوع الثاني (شكل ٦) يكون هذا الضغط مساويا للمقاومة ناقصا القوة ومتجهها الى جهة المقاومة وفي الرافعة التي من النوع الثالث (شكل ٧) يكون مساويا للقوة ناقصا المقاومة ومتجهها الى جهة القوة فاذا لم تكن قوتا  $\bar{b}$  و  $\bar{c}$  متوازيين لزم أن نعد اتجاهيهما حتى يتقاطعا في نقطة  $\bar{d}$  (شكل ١٤) ثم نرسم على مستقيبي  $\bar{b}$  و  $\bar{d}$  متوازي الاضلاع لقوتي  $\bar{c}$  و  $\bar{r}$  وهو  $\bar{a}$  و  $\bar{d}$  فيكون أولا وتر هذا الشكل مارا بنقطة الارتكاز وهي  $\bar{a}$  وثانياً يكون هذا الوتر دالا مقدارا واتجاها على الضغط الحاصل على نقطة الارتكاز

(وليكن  $\bar{a}$  و  $\bar{d}$  هو متوازي الاضلاع الحادث من  $\bar{a}$  و  $\bar{a}$  و  $\bar{a}$  الموازيين لخطي  $\bar{b}$  و  $\bar{c}$  بحيث ان مستقيبي  $\bar{a}$  و  $\bar{a}$  عمودان على مستقيبي  $\bar{b}$  و  $\bar{c}$  فان مثلثي  $\bar{a}$  و  $\bar{a}$  يكونان قائمي الزاوية وزيادة على ذلك يكون كل من زاوية  $\bar{a}$  من المثلث الاول وزاوية  $\bar{a}$  من المثلث الثاني مساويا لزاوية  $\bar{a}$  فتكونان هما ايضا متساويتين فاذا كان مثلثا  $\bar{a}$  و  $\bar{a}$  متشابهين ومن ذلك يحدث هذا التناسب وهو

$$\bar{a} : \bar{a} :: \bar{a} : \bar{a}$$

لكن  $\bar{a} = \bar{a}$  و  $\bar{a} = \bar{a}$  فيحدث من متوازي الاضلاع للقوى هذا التناسب وهو

$$\bar{c} : \bar{r} :: \bar{a} : \bar{d}$$

فاذا كان يكون  $\bar{c} : \bar{r} :: \bar{a} : \bar{a}$  و  $\bar{a} : \bar{a}$

$$\bar{c} \times \bar{a} = \bar{r} \times \bar{a}$$

وحيث تكون نقطة  $\bar{a}$  المأخوذة في النقطة التي يتقاطع فيها وتر متوازي

الاضلاع القوي مع رافعة ب ا ث هي في الحقيقة نقطة الارتكاز وفائدة ذلك اظهار الاتحاد بين امرين متباينين

فاذا كان هنالك عدد مامن القوى مثل ح و خ و ر و ض و ط (شكل ١٥) الواقعة على رافعة ث ب ا د ه ف ونزلنا اعمدة

ا ح و ا غ و ا ر الخ على اتجاها كل من هذه القوى ثم اخذنا أولا لمقادير اقوى التي تدبر الرافعة في جهة مجموع حواصل ضرب كل قوة في ذراع رافعتها وثانيا مجموع الحواصل المقابلة لمقادير سائر القوى التي تكاد تدبر الرافعة في جهة مضادة للمتقدمة ك كان التوازن حاصلًا اذا كان هذان المجموعان متساويين وحينئذ يلم شرط التوازن من هذا التساوي وهو

$$ح \times ا ح + خ \times ا غ = ر \times ا ر + ض \times ض ضه الخ$$
 وحيث انهننا ك لا م تفصيلا على ما يتعلق بنظري الرافعة حق أن نتكلم على ما يتعلق بذلك من الاحوال الخصوصية الاملية وعملياتها فنقول

\*(بيان الرافعة التي من النوع الاول)\*

الرافعة البسيطة المنتظمة هي ما كان ذراعاهما متساويين والتوازن فيها مستلزمًا لتساوي القوة والمقاومة ايضا ومن هذا النوع الميزان

فهو كما في شكل ١٦ كناية عن رافعة ذراعاهما ا ب و ا ث متساويان وتعرف بقب الميزان ونقطة ارتكازها وهي آ محمولة على لسان ل م ه وعلى هذا اللسان محور ل ا ه الافقي الذي يمكن أن يدور حوله قب الميزان وفي كلتا نهايتي هذا القب كفتان مستديرتان (شكل ١٦) او مربعتان (شكل ١٧) مربوطتان بسلاسل او خيوط ولا بد أن يكون ثقل الكفتين واحدا وأن تكونا متشابهتين وابعادهما واحدة وخيوطهما متساوية ومحور ثقلهما ما زاد اجمرك ثقلهما وأن يكون الوضع الاصلي لتوازنهما هو الوضع

الذي يكون فيه هذا المحور رأسيا بحيث اذا وضع في مركز ثقل الكفتين شيء يراد وزنه تكون هاتان الكفتان باقيتين على وضعهما الاصلى ولا يكون الشيء الموزون عرضة للسقوط بسبب ميل احدى الكفتين من جهة اكثر من الاخرى فيوضع في احدى الكفتين نقل  $\overline{ح}$  الذي هو كناية عن قوة  $\overline{ح}$  وفي الثانية الشيء المطلوب وزنه الذي هو كناية عن مقاومة  $\overline{ر}$  فهي كانت هاتان القوتان متساويتين وكان قب الميزان اقلها فان شرط التوازن يكون

$$\overline{ح} \times \overline{أب} = \overline{ر} \times \overline{أث}$$

فاذا لم يكن  $\overline{أب}$  مساويا  $\overline{أث}$  بل كان اصغر منه لزم أن تكون  $\overline{ح}$  اكبر من  $\overline{ر}$  ليكون الحاصلان باقيين على تساويهما فعلى ذلك اذا كان ذراعا الميزان غير متساويين ووضعت الصنجة في جهة اصغرهما فانه يوازنها من البضاعة ما يكون دونها في الثقل وهذا ما يسلكه اهل الفس المحسرون في موازينهم القاسدة فاذا اردت اظهار غشهم فضع الصنجة موضع البضاعة الموزونة وهي موضع الصنجة فحيث ان القوة الصغرية في نهاية الذراع الصغير من الرافعة يعدم التوازن بين الصنجة والموزون

وقد استعملوا في كثير من القنون والتجارب التي عملها الكيمائيون والطبيعيون والمهندسون كيفية لاتعلق بنميط الميزان في شيء حيث يضعون في احدى الكفتين جسم  $\overline{ر}$  الذي يراد وزنه وفي الكفة صنج  $\overline{ح}$  التي توازنه ثم يرفعون ذلك الجسم ويضعون بدله انقالا جديدة تجمع حتى توازن الصنج المذكورة بحجم  $\overline{ر}$  فهذه الانقال الجديدة تدل ضرورة بحجم وعملها على ثقل جسم  $\overline{ر}$  مع الضبط

ولاجل اختبار ما يتعلق بالميزان اختبارا تاما يلزم اعتبار نقل الكفتين وقب الميزان ولا بد من وجود التوازن من مبداء الامر قبل وضع اي نقل في الكفتين ولا بد ايضا أن يكون ذراعا الرافعة متصدين في الثقل والطول وأن يكون مركز ثقلهما على بعد واحد من المستقيم الرأسي المحتد من نقطة الارتكاز او من محور قب الميزان

فإذا كان أب و اث ذراعى الميزان و ش مركزى ثقلهما  
يلزم أن يكون س الذى هو ثقل ذراع أب المحصور فى غ متوازنا  
مع ص الذى هو ثقل ذراع اث المحصور فى ش فاذن يكون  
$$س \times \text{أغ} = \text{ص} \times \text{أش}$$

وإذا كان غ و ش نقطة الارتكاز وهى ا على مستقيم واحد  
كان التوازن حاصلًا دائمًا على أى حالة كان ميل الرافعة وفى هذه الصورة  
لا يأخذ الميزان وضعًا مخصوصًا إلا إذا وضع فيه انقال اجنبية وبالجملة فاذن  
زيادة فى الثقل تجذب احد ذراعى الميزان الى اسفل ويحصل من ذلك تحرك  
غير محدود

وينبغى مزيد الاهتمام بجعل مركزى غ و ش اخفض قليلا من نقطة  
الارتكاز (شكل ١٨) لكن بشرط أن يكونا فى ارتفاع واحد اذا كان  
ذراعا أب و اث اقصين فاذا اختلف التوازن حيثئذ قليلا بهبوط  
أب مثلا (شكل ١٩) ورفع اث فان مستقيم أش يقرب  
من الافق بخلاف أغ فانه يبعد عنه أكثر من بعده وهو فى وضعه الاول  
فاذن اذا مددنا مستقيما س غ و ص ش الرأسيين من  
مركزى غ و ش ثم مددنا ايضا خط غ ا ش الافق كان ا ش  
بالضرورة اكبر من أغ لكن يكون فى هذا الوضع  $س \times \text{أغ} = \text{ص} \times \text{أش}$  هو مقدار  
س و ص  $\times$  ا ش هو مقدار ص  $=$  س فاذن يكبر مقدار  
الجين وبذلك يأخذ ذراع اث فى الهبوط حتى يصير وضع رافعة  
أب اث اقصيا وحيث ان هذا الذراع هبط بسرعة معلومة بسبب ما اكتسبه  
من التحرك عند وصوله الى الوضع الافق فان هذا التحرك يكون مستمرا ويكون  
أش نازلا تحت الافق بخلاف أب فانه يرتفع فوقه فيحصل بذلك  
ارتجاج يصير مستمرا متى كان لا يحدث عن الاحتكاك او مقاومة الهواء ما يمنع

هذا الاستقرار الا أن تأثيراتين المقاومتين يوقف الموازين المضبوطة ضبطا تاما بعد عدة رجات طويلة المسافة او قصيرة لكنها تكون محدودة دائما

ولكن و (شكل ١٨ و ١٩) مركز ثقل قب الميزان فاذا كان التوازن مختلفا قليلا فان ثقل  $S + \overline{ص}$  يأخذ في توصيل  $\overline{و}$  الى المستقيم الرأسى بواسطة قوة  $= (S + \overline{ص})$  مضروبة في قوس  $\overline{م و}$  الذي يقطعه مركز  $\overline{و}$  من ابتداء مستقيم  $\overline{أم}$  الرأسى وهو قوس مناسب لبعده  $\overline{أو}$  بالنسبة الى زاوية واحدة

واذا اردت أن تعرف عند عمل الميزان هل مركز ثقل القب قريب او بعيد عن نقطة الارتكاز وهي  $\overline{آ}$  لزم أن تعد في زمن معلوم رجات هذا القب فان كانت بطيئة جدا وصعبة الحصول  $\llcorner$  كان المركز قريبا جدا من نقطة الارتكاز وان كانت سريعة جدا كان الامر بالعكس فيلزم تقريب المركز من نقطة الارتكاز بأن ترفع او تخفض مركز ثقل قب الميزان وذلك بهدف شئ من جزئه الاسفل او اضافة شئ اليه

وقب الميزان هو بندول مركب تعلم سرعة رجاته ومدتها بالحسابات المذكورة في الدرس السابق متى تعين مقدار اينرسي الميزان ووضع مركزه وهو  $\overline{و}$

وتم طريقة سهلة يعرف بها صحة وضع قب الميزان وهي أن تأخذ لسان  $\overline{أم}$  المثبت في القب تثبيتا جيدا (شكل ١٦ و ١٧) وتجعله عمودا على رافعة  $\overline{ب آ}$  فتكون جمالة  $\overline{لام د}$  المسكة من نقطة  $\overline{م}$  عند رفع الميزان في وضع رأسى ومتى كان  $\overline{ب آ}$  اقريبا كان اللسان العمودى عليه رأسيا وحينئذ يكفي لصحة الميزان أن يكون اللسان غير مائل الى جهة اليمين ولا الى جهة الشمال عند خلوكه في الميزان او عند وضع الصنج في احدهما والشئ المراد وزنه في الاخرى

هذا ومقتضى ما ذكرناه من التفاصيل أن الآلات البسيطة لا يمكن أن تبلغ في الصناعة درجة كمال مالم تعين القوانين الميكانيكية اللازمة لاجزائها المتنوعة لكي تكون تامة الضبط



والقبان كالميزان فهو رافعة من النوع الاول تستعمل لايقاع التوازن بين ثقل ايا كان وقوة صغيرة تعرف بالرمانة

فتفرض رافعة مستقيمة كرافعة  $\overline{ب\text{آ}}$  يكون ذراعها الصغير وهو  $\overline{آ\text{ح}}$  مأخوذا وحدة قياس وذراعها الكبير مقسوما الى عدد ما من الوحدة فبحسب وضع الرمانة الرموز اليها بحرف  $\overline{ح}$  في نقط التقسيم وهي ١ و ٢ و ٣ و ٤ الخ تكون هذه الرمانة موازنة للثقل الرموز اليه بحرف  $\overline{ر}$  فيكون مساويا لثقلها مرة واحدة او ٢ او ٣ او ٤ الخ

فاذا قسمنا كل جزء من اجزاء الذراع المذكور وهو  $\overline{آب}$  المقسوم سابقا الى اجزاء مساوية للذراع الصغير وهو  $\overline{آ\text{ح}}$  تقسيما ثانويا بان تقسم كل جزء من تلك الاجزاء الى عشرة اجزاء مساوية مثلا فان كلامنا من هذه الاجزاء الثانوية يدل في حاصل  $\overline{آ} \times \overline{ح}$  على عشر حاصل  $\overline{آ\text{ح}}$  وذلك يستلزم لاجل حصول التوازن أن نزيد ثقل  $\overline{ر}$  زيادة تساوي عشر  $\overline{ح}$  وكل تقسيم ثانوي مساو لجزء من مائة من  $\overline{آ\text{ح}}$  يدل ايضا في حاصل  $\overline{آ} \times \overline{آ\text{ح}}$  على جزء من مائة من  $\overline{آ\text{ح}}$

فعلى ذلك اذا قسمنا ذراع  $\overline{آب}$  الى احدى وعشرين ومائة ونحو ذلك قسمة مضبوطة امكن تعيين مرات احتواء ثقل  $\overline{ر}$  مثلا على ثقل كثقل  $\overline{ح}$  وتعيين اعشار هذا الثقل المأخوذ وحدة وكذلك عشر هذا الثقل وواحد من مائتيه وهلم جرا

وما ذكرناه في درجات الميزان يمكن اجراء بعضه في القبان فيلزم أولا أن تكون نقطتا الوقوع وهما  $\overline{ب}$  و  $\overline{ث}$  موجودتين على مستقيم واحد مع نقطة الارتكاز وهي  $\overline{آ}$  وثانيا أن مركز ثقل القبان يكون اخفض قليلا من نقطة  $\overline{آ}$  ويكون على خط رأسي مع هذه النقطة اذا كان خط  $\overline{آ\text{ح}}$  اقويا فاذا اقتضى الحال الوقوف على ضبط الوزن بالقبان كان التعويل في ذلك على تكرير الوزن بمعنى انه بعد حصول التوازن بين الجسم والرمانة وتعيين النقطة التي حصل فيها التوازن نضع محله صنجا بقدر الارطال المعينة بالقبان

فان حصل التوازن كانت الآلة مضبوطة والا فلا وبالجمله فهو ما كان خطل الآلة المستعملة فان الصنج التي توضع محل الجسم المراد وزنه تقوم مقام زنته حين تتوازن مع الرماتة والفرق الحاصل بين ارجال الصنج والارطال المعينة بالقبان هو خطل تلك الآلة ولا يخفى أن استعمال هذه الطريقة سهل به في كثير من الصور ما صعب من العمليات الثابتة بالتجارب والبراهين ونحو ذلك من اليقنيات

ثم ان القبان من الروافع التي من النوع الاول حيث تتوازن فيه مقاومة ايا كانت مع قوة اصغر منها وليست هذه الروافع مقصورة على تحصيل التوازن بل نستعمل ايضا في تحصيل التحركات

وذلك كدفة السفن صغيرة كانت او كبيرة فهي مما نحن بصدده فلنفرض رافعة كرافعة **ث** **أ** **ب** (شكل ٢١) الثابتة من نقطة **أ** على مؤخر

السفينة يكون احد ذراعيها هو **أ** **ب** منغمسا في الماء والثاني وهو **أ** **ث** ممسكا من نقطة **ث** بيد الرئيس او غيره او بالآلة ميكانيكية حيث ما اتفق

فاذا كانت السفينة ساخرة وكانت دفة **ث** **أ** **ب** موجودة في اتجاه السير فانه لا يعرض لها مقاومة من الماء بخلاف ما اذا دفع الرئيس يد الدفة التي هي

**أ** **ث** الى نقطة **ث** مثلا فانه يعرض بلجزء الدفة وهو **أ** **ب** مقاومة **س** التي تزداد بازدياد زاوية **ب** **أ** **ب** وتصل قوة **س** المائلة الى قوتين

احدهما قوة **س** التي في جهة **أ** **ب** ولا تأثير لها الاشد الدفة من جهة طولها لتخلعها من زواياها والثانية قوة **س** العمودية على **أ** **ب** التي

تدفع الدفة الى جهة مضادة للسير و بموجب ما سبق في المدرس الخامس يكون لقوة **س** تأثيره تدوير السفينة ويكون مقداره مساويا **س**  $\times$  **غ**

بفرض أن **غ** هو بعد مركز ثقل السفينة وهو **غ** عن اتجاه **س** ولنجعل **ح** رمزا الى قوة الرئيس الواقعة على نقطة **ث** ونجعل **د**

رمزا الى مركز وقوع **س** فيحدث لاجل توازن الدفة **ح**  $\times$  **أ** **ث** = **س**  $\times$  **أ** **د**

\*(بيان الرافعة التي من النوع الثاني)\*

قد سبق أن المقاومة في الرافعة التي من هذا النوع تكون موجودة بين القوة ونقطة الارتكاز فلا تستعمل هذه الرافعة الا في الاحوال التي تكون فيها القوة اصغر من المقاومة

ومن هذه الروافع المدارى والمجاذيف المستعملة لسير السفن الى الامام فتكون القوة واقعة على نقطة ن (شكل ٢١) التي هي مقبض المدرة المرموز اليها برمز ن و م وشاذة للمقبض المذكور من مؤخر السفينة الى مقدمها وتكون نقطة الارتكاز وهي م موجودة في الطرف الاخر من المدرة وتكون المقاومة حاصلة من السفينة في و التي هي نقطة من نقطة حافة السفينة اما بواسطة ثقب في هذه الحافة او مسمار رأسي يعرف بالخرطوم ومن البديهي انه اذا عين مركز مقاومة جزء المدرة المنغمس في الماء كانت القوة مضروبة في بعد هذا المركز عن مقبض المدرة مساوية للمقاومة مضروبة في بعد المركز المذكور عن النقطة التي تكون فيها المدرة مستندة على حافة السفينة لان هذا المركز معتبر كنقطة الارتكاز

ويلزم تصبير الذراع الصغير بثقل ما حتى تكون الرافعة متوازنة تقريبا على نقطة و التي ثقلت هي اليها بواسطة السفينة وذلك لئلا يزداد الشغل على الملاح بالالتكاء على هذا الذراع لاجل موازنة الذراع الكبير

\*(بيان الرافعة التي من النوع الثالث)\*

حيث ان القوة في هذه الرافعة موجودة بين نقطة الارتكاز والمقاومة فانها بالضرورة تكون اكبر من المقاومة فلا تستعمل هذه الرافعة الا في الاحوال التي تكون فيها القوة اكبر من المقاومة

ومن هذه الروافع الريشة وفرشة الرسم وقلم الجدول فيلزم أن يكون سن الريشة وقلم الجدول سريع الحركة لصغر المقاومة التي تعرض له على الورق ومن هنا يعلم الوضع الملايم لأمساك هذه الآلات

فتكون  $\bar{A}$  التي هي نقطة ارتكاز ريشة  $\bar{A}B$  (شكل ٢٢) موجودة على العقدة الاولى من السبابة فتكون المقاومة حيثخذ في نقطة  $\bar{B}$  من الورق الذي تحصل فيه الكتابة التي هي تأثير الرافعة وتكون القوة مقسومة بين الابهام والسبابة والوسطى الى  $\bar{M}$  و  $\bar{D}$  و  $\bar{O}$  فاذا قلبت اليد (شكل ٢٣) لتفترس الريشة ابصرت  $\bar{M}$  و  $\bar{D}$  و  $\bar{O}$  التي هي نقط وقوع الاصابع المذكورة وكلما ازدادت قوة الاعصاب الواقعة على  $\bar{M}$  و  $\bar{D}$  او  $\bar{O}$  لتنقص في النقطتين الاخرين منها كانت الريشة مدفوعة الى جهات متنوعة فلا يرسم سائر انواع الحروف والصور

وفي عملية الكتابة شاهدين على التركيب الحقيقي للات البسيطة في الظاهر فانك ترى وقت الكتابة الاصبعين الاخيرين من اليد اليمنى مسندا للريشة والساعد الايمن والذراع الايسر مسندا للجسم بتمامه وكل ذراع مع يده يتركب من اثنتين وعشرين رافعة من النوع الاول وكل ساق مع رجله يتركب من ثلاث وعشرين رافعة من ذلك النوع

ثم ان ارباب التأليف الذين لا يرتضون استعمال الات المركبة في الفنون ويحترضون على تركها ويميلون الى الاصول الطبيعية يستعملون رافعة اصطناعية متحركة بثلاث قوى متصلة من مجموع تسعين رافعة موجودة في النوع البشري من اصل الخلقة وهذه الروافع يدفعها او يجذبها بالتعاقب مائة وثمانون طائفة من الاوتار المعروفة بالاعصاب التي منها ما هو مربوط بنقطة الارتكاز من جهة الامام ومنها ما هو مربوط بها من جهة الخلف وحيث كانت كثرة الاوتار والروافع لا توجب اختلالا ولا تعطيل في العمليات التي يباشرها الانسان باعضائه سهل علينا ان نثبت ان هذا التركيب العجيب يلزمه النباهة والاستعداد لاجراء عدة عمليات دقيقة ليست في وسع غيره من سائر الحيوانات التي هي دونه في الاعصاب والروافع بالنظر لتركيبها

وفي الفنون ما هو قنبر هذه الامور الطبيعية كالروافع والاوراقان اذ رعة  
الاشارات روافع متحركة بواسطة جبال كما أن اذ رعة الانسان تقهر  
بواسطة الاعصاب

فاذا اقتضى الحال تحصيل التوازن بين قوة صغيرة ومقاومة كبيرة لزم  
بواسطة استعمال رافعة واحدة. وضع قطة الارتكاز قريبة جداً من نقطة  
وقوع المقاومة وربما نشأ عن ذلك في كثير من الاحوال موانع قوية تمنع  
من حصول المطلوب مع الصحة والضبط وقد يتدارك هذا النقص باستعمال  
عدة روافع كالتي في شكل ٢٤ وحيث ان قوة ح واقعة على طرف الذراع  
الاكبر من رافعة باث فان طرف الذراع الاكبر وهو ر من  
رافعة ثانية كرافعة شده يكون موضوعا على قطة ث التي هي  
طرف الذراع الاصغر وهو ل من الرافعة الاولى وقس على ذلك رافعة ثالثة  
كرافعة ه غش وهكذا

ولتكن س و س و س الخ هي المقاومات الحاصلة على  
ث و ه و ش التي هي قط تقاطع الروافع المتوالية ولتكن  
ل و ل و ل الخ هي الاذرعة الكبرى من تلك الروافع و ل و ل  
و ل الخ هي اذرعتها الصغرى فيحصل معنا شرط التوازن وهو في الرافعة

$$\text{الاولى} \quad \overline{ل} \times \overline{س} = \overline{ل} \times \overline{س}$$

$$\text{وفي الثانية} \quad \overline{ل} \times \overline{س} = \overline{ل} \times \overline{س}$$

$$\text{وفي الثالثة} \quad \overline{ل} \times \overline{س} = \overline{ل} \times \overline{س}$$

فاذا ضربنا اقوال الحدود الاول من هذه المعادلات في بعضها ثم الحدود  
الثواني كذلك وطرحنا من الحاصلين الكميات المشتركة وهي س و س  
و س الخ فحيث ان ر هي القوة الاخيرة اي المقاومة يكون شرط

التوازن

التوازن على وجه الاختصار هو

$$\overline{ح} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} = \overline{ر} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل} \times \overline{ل}$$

اعني أن القوة مضروبة في الأذرع الكبرى من الرافعة تساوي المقاومة مضروبة في الأذرع الصغرى منها

ولنفرض مثلاً أن الذراع الأكبر من الروافع يساوي الذراع الأصغر عشر مرات فإذا أخذنا بالتوالي رافعة واحدة أو ٢ أو ٣ أو ٤ الخ ظهر أن المقاومة مساوية للقوة مضروبة في ١٠ أو ١٠٠ أو ١٠٠٠ أو ١٠٠٠٠ الخ وعلى ذلك فيمكن في حصول التوازن بين قوة ومقاومة أكبر منها عشرة آلاف مرة أربع روافع تكون فيما نقطة الارتكاز أقرب إلى المقاومة من القوة عشر مرات فقط

وفي انكثرة يستعملون عدة روافع كالمقدمة في (شكل ٢٤) في قياس قوة القنن المتخذة من الحديد

وتستعمل أيضاً الروافع المتقدمة استعمالاً بديعاً في إثبات ما يكون للقضبان المعدنية من الامتداد عند تعرضها للحرارة وهذا الامتداد الدقيق جداً الذي لا يدركه النظر يلزم ضربه في عشرة آلاف مع الروافع الأربع المذكورة إذا كان الذراع الأكبر من الرافعة الأخيرة مقرباً منها لأنه يكون حينئذ سريع الحركة فيمكن اذن بواسطة تقسيم القوس الذي يقطعه هذا المقرب الحكم على ما يكون للقضيب المعدني من الامتداد وبهذه الكيفية يمكن أن نعين مع الضبط نسب امتداد الحديد والصلب والنحاس وهي نسب يستفيد منها الساعاتية وتعود عليهم بالمنفعة

(راجع بندولات التعديل المتقدمة في الدرس السابع)

\*(الدرس التاسع)\*

\*(في بيان البكرات والمقات)\*

البكرة من حيث هي (شكل ١) تتركب من ثلاثة أجزاء أحدها قرص مستدير

محيطه ثم ميز إلى عميق من سائر جهاته لاجل ادخال الجبل وثانيها محور يدور عليه القرص وثالثها حالة الخماله أ ب ث د مثلهى جسم يوجد به ثقب م ن الذى يدور فيه القرص وفيه ثقب آخر وهو ط مستدير عمودى على م ن المذكور معد لدخول محور البكرة فيه

وفي البكرة الثابتة (شكل ٢) تكون الحالة ثابتة ومربوطة بنقطة ثابتة فرضا او تحقيقا كنقطة س وكذلك يلزم أن يكون المحور ثابتا والافلابة من أن يكون بعده عن نقطة س لا يتغير وأن تكون قوة ح مؤثرة في احد طرفي ح ا م ب خ ومقاومة خ ثابتة في الطرف الآخر منه فاذا اثرت القوة في المقاومة فانها تشد الجبل حتى يظهر منه جزءان مستقيمان بجزئى أ ح و ب خ احدهما وهو أ ح واصل من البكرة الى القوة والاخر من البكرة الى المقاومة ويظهر منه ايضا جزء على صورة منحنى أ م ب يلتف على محيط حلق البكرة وهو اقصر خط يمكن رسمه بين نقطتي أ و ب على سطح هذا الحلق وقد سبق ايضا حواص هذا السطح في الدرس الخامس عشر من الجزء الاول من هذا الكتاب

فاذا كانت قوتا ح و خ في مستور رأسى كان هذا المستوى ايضا مستويا لمنحنى أ م ب ولا يمكن أن تكون هاتان القوتان متوازيتين بالنسبة لنقطة س الثابتة الا في صورة ما اذا كانت النقطة موجودة في مستوى القوة والمقاومة الرأسى

وكما ان البكرة الثابتة تستعمل في رفع الدلاء من الآبار وكذلك فيما يستخرج من المعادن تستعمل ايضا في تحصيل القوة والمقاومة ونقطة الارتكاز الموضوعه كلهما في مستور رأسى واحد يتجه عليه طرف الجبل المرموز اليه

برمز ب خ المربوط به المقاومة التى هى كناية عن ثقل معلق بجبل ب خ يراد رفعه

وفي الصورة المستثناة اذا لم يكن  $\overline{آح}$  وهو اتجاه جزء الحبل المربوط فيه القوة رأسياً يكون ذلك الحبل على صورة منحني يعرف بالسلسلة كما تقدم وقد سبق ايضاح خواصها في الدرس السادس من هذا الجزء

وحيث ان الحبل فيما عدا هذه الصورة يكون ملفوفاً على حلق البكرة فلا بد أن تكون شروط توازن هذا الحبل هي عين الشروط المذكورة في الدرس الرابع المعقود لتوازن الحبل الممتد على السطح والمشدود من طرفيه بالقوى فعلى ذلك

يكون الشد الحاصل للحبل المذكور في جميع نقطه وهي  $\overline{آ}$  و  $\overline{م}$  و  $\overline{ب}$  التي على محيط البكرة باقياً على حالة واحدة فاذا كانت القوة حيث تد واقعاً على نقطة  $\overline{آ}$  مباشرة والمقاومة واقعة على نقطة  $\overline{ب}$  مباشرة ايضاً لزم أن تكون هاتان القوتان متساويتين مهما كان اتجاههما

فاذا لم تكن القوتان المذكورتان واقعيتين مباشرة على هاتين النقطتين بل كانتا واقعيتين على بعد واحد من بعضهما وقطعنا النظر عن نقل الحبل لزم أن تكونا متساويتين ايضاً بخلاف ما اذا لم تقطع النظر عنه بل اضفناه من جهة الى القوة ومن اخرى الى المقاومة فيلزم أن يكون المجموعان متساويين ليكون التوازن حاصلًا حول محور البكرة

وهذا مما لا بد منه في رفع الاحمال الى ارتفاعات عظيمة وكلما ازداد تأثير القوة هبطت مع الحبل الذي تشده واكتسبت من ثقله جزءاً مساوياً بالضبط للجزء المطروح من جهة المقاومة وبناء على ذلك اذا كبرت القوة فانها تحدث للمقاومة تحركاً الى اعلى يعظم شيئاً فشيئاً حتى يكون خطراً

ولا جل تحصيل فاضل واحد بين القوة والمقاومة نستعمل سلسلة تعديل

كسلسلة  $\overline{خ ن و}$  المربوط بها حمل  $\overline{خ}$  المطلوب رفعه رأسياً ولنفرض أن هذه السلسلة والحبل المربوط به القوة والمقاومة متساويان في الطول الا أن السلسلة تكون ضعيفة في الثقل فاذا شدت قوة  $\overline{ح}$  الحبل



حق نقلته الى  $\overline{ح}$  فان جزء  $\overline{اب}$  يزداد بقدر  $\overline{ح ح}$  وجزء  $\overline{ب خ}$   
 ينقص بقدر  $\overline{خ خ}$  وذلك ناشئ عن عدم نقصان شيء من مقاومة  $\overline{خ}$   
 وعن اكتساب قوة  $\overline{ح}$  ضعف ثقل جزء  $\overline{ح ب}$   $\overline{ح ح}$  وحيث ان مقاومة  
 $\overline{خ}$  المذكورة ارتفعت بقدر  $\overline{خ خ} = \overline{ح ح}$  فان جزء سلسلة التعديل  
 وهو  $\overline{ن ن}$  الموضوع على مسطح افقى يرتفع ويصير رأسيا ويثقل من  
 جهة المقاومة لكن حيث كان  $\overline{ن ن}$  مساويا في الطول لكل من  
 $\overline{ح ح}$  و  $\overline{خ خ}$  كان ضعف كل منهما في الثقل فاذن تنكسب قوة  $\overline{ح}$   
 من جهة ضعف ثقل  $\overline{ح ح}$  وتنكسب مقاومة  $\overline{خ}$  من جهة اخرى  
 ضعف هذا الثقل وبناء على ذلك يكون دائما بين القوة والمقاومة فاضل واحد  
 وذلك نتيجة مهمة في كثير من الصور

فاذا كان جبلا  $\overline{ا ح}$  و  $\overline{ب خ}$  (شكل ٢) متوازيين كانت محصلة  
 قوى  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  المتساويتين موازية لاتجاهي  $\overline{ا ح}$  و  $\overline{ب خ}$   
 ومارة بمحور القرص واذا لم تكن قوتا  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  المذكورتان  
 (شكل ٤) متوازيين لزم أن تكون محصلتهما مارة دائما بمحور القرص  
 وهو  $\overline{ث}$  ونقطة التعليق وهي  $\overline{س}$  ولا يمنع ذلك من بقاء هاتين القوتين  
 على التساوي واذا مددنا اتجاهي  $\overline{ا ح}$  و  $\overline{ب خ}$  حتى تقاطعا في نقطة  
 $\overline{د}$  لزم أن تكون نقط  $\overline{ث}$  و  $\overline{س}$  و  $\overline{د}$  الثلاثة على مستقيم واحد  
 ويحدث من هذا المستقيم مع  $\overline{ا ح}$  و  $\overline{ب خ}$  اللذين هما اتجاهاهما القوة  
 والمقاومة زاوية واحدة

واذا ارد معرفة الضغط الحاصل من قوتي ح و خ على ث الذي هو محور القرص فالتابعين محصلة دش من متوازي الاضلاع وهو دهش ف الذي يدل ضلعا على المتساويان وهما ده و دو على القوة والمقاومة وذلك أن وتر دش هو محصلة القوتين المتجهتين على دس ث اعني الضغط الحاصل على محور القرص وبإضافة هذا الضغط الى ثقل البكرة ينشأ الجهد الكلي الواقع على نقطة الارتكاز وهي س

وحيث كانت القوة في البكرة الثابتة مساوية دائما للمقاومة كان لا يمكن استعمال هذه الآلة الا في تحويل قوة من اتجاه الى آخر بدون أن يتغير مقدارها ولذا كانت البكرات المستعملة في ذلك تسمى باسم يلايها وهو بكرات الرد لان الغرض منها ليس الازد القوة من اتجاه الى آخر

فاذا لم تكن قوتا ح و خ متساويتين فان صغيرهما يعدم من كبرهما جزأ بقدرها ويتحرك حيث ذكر في البكرة في جهة كبرهما بفاضل القوتين غير أن الضغط الحاصل من القرص او المحور على الجملة يكون مساويا لمحصلة قوتين مفروض مساواة كل منهما للقوة الصغرى وعلى ذلك فيمكن أن يكون تحرك البكرة بطيئا جدا وان كان الضغط الحاصل على المحور عظيمًا جدًا وبكفي لذلك أن تكون القوة والمقاومة كبيرتين جدًا ~~ال~~ يمكن يكون بينهما اختلاف قليل وهذه هي قاعدة الآلة التي احترعها المهندس انورد لينبت بالتجربة قوانين سقوط الاجسام التي تقدم ذكرها في الدرس الثاني من هذا الجزء

ولقد نص في قطر ثأ و ثب (شكل ٤) عمودين على اتجاهي ا ح و ب خ فيكون مستقيم اب عمودا على ثش د

الذي يقسم زاوية  $\overline{ا ش ب}$  الى جزئين متساويين فاذن تكون اضلاع  
مثلثي  $\overline{ده ش}$  و  $\overline{ا ش ب}$  متقابلة وعمودية على بعضها ومن ذلك  
يحدث هذا التناسب وهو

$\overline{ح} = \overline{خ} : \overline{ر} :: \overline{ده} = \overline{دف} : \overline{دش} :: \overline{ا ش} = \overline{ب ش} : \overline{ا ب}$   
وبناء على ذلك تكون في البكرة الثابتة نسبة القوة المساوية للمقاومة الى  
ضغط  $\overline{ر}$  الحاصل على نقطة الارتكاز كنسبة نصف قطر القرص الى وتر  
 $\overline{ا ب}$  الحاصر لقوس  $\overline{ا ب}$  المحاط بجزء من الحبل الملقوف على القرص

\* (بيان البكر المتحرك) \*

اذا ابدلنا في البكر الثابت (شكل ٢ و ٤) النقطة الثابتة بقوة  $\overline{ر}$   
المساوية للجهد الحادث على هذه النقطة من تأثير  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  كان التوازن  
باقيا على حاله بين القوي الثلاثة وهي  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  و  $\overline{ر}$  وانما يتغير البكر  
الثابت بالبكر المتحرك (شكل ٣ و ٥) فيحدث اذن في البكر المتحرك  
من قوتين  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  الواقعتين على طرفي الحبل المار بالقرص ومن قوة  
 $\overline{ر}$  الواقعة على الجملة هذان التناسبان وهما

$$\overline{ح} = \overline{خ} : \overline{ر} :: \overline{ده} = \overline{دف} : \overline{دش}$$

$$\text{و } \overline{ح} = \overline{خ} : \overline{ر} :: \overline{ا ش} = \overline{ب ش} : \overline{ا ب}$$

وتبدل في العادة احدى قوتي  $\overline{ح} = \overline{خ}$  بنقطة ثابتة كنقطة  $\overline{خ}$  فتكني  
حينئذ قوة  $\overline{ح}$  في موازنة مقاومة  $\overline{ر}$  وقد يعبر عن التناسب الاخير بهذه العبارة  
فيقال

ان نسبة القوة الى المقاومة في البكر المتحرك كنسبة نصف قطر القرص الى

الوزن الخاص لقوس  $\overline{أ ب}$  المحاط بميز من الجبل الملقوف على القرص  
ولهذه النسبة فائدة وهي أنه بموجبها يستغنى عن تركيب متوازي  
الاضلاع للقوى لأنها تتعلق بأصول هندسية مستعملة كثيرا ومعلومة  
الحساب في جداول مطبوعة تعرف باسم الجداول اللوغاريتمية والجيبية

ومنى كانت قوتا  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  متجهتين بالتوازي (شكل ٣) لزم  
أن تكون مقاومة  $\overline{ر}$  متجهة مثلها وزيادة على ذلك تكون مساوية  
لجموعهما وهو  $\overline{ح} + \overline{خ}$  وهذا هو اعظم تأثير يمكن حصوله من هاتين  
القوتين بواسطة البكرة المتحركة لاجل شد الجمالة

وكما كانت الزاوية الحادة من اتجاهي  $\overline{أ ح}$  و  $\overline{ب خ}$  (شكل ٥)  
منفرجة تقص وتر  $\overline{د ش}$  ولزم أن تكون مقاومة  $\overline{ر}$  صغيرة إذا كانت  
قوة  $\overline{ح} = \overline{خ}$  محدودة ولزم أيضا أن تكون قوة  $\overline{ح}$  كبيرة إذا كانت  
 $\overline{ر}$  محدودة

وقد سبق أنه يلزم عوضا عن استعمال قوتي  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  للتوازن  
مع قوة ثالثة كقوة  $\overline{ر}$  (شكل ٣ و ٥) أن تربط غالبا باحد حبلي  
 $\overline{أ ح}$  او  $\overline{ب خ}$  في نقطة ثابتة تكون متحملة للجهد الذي تحمله قوة  $\overline{خ}$   
التي يمكن توفيرها

مثلا في صورة ما إذا كان الجبلان متوازيين (شكل ٣) تكون قوتا  
 $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  متساويتين فيكفي في حصول التوازن بين قوة  $\overline{ر} = \overline{ح}$   
 $+ \overline{خ} = ٢ \overline{ح}$  أن نستعمل قوة  $\overline{ح}$  وحدها فيتوفر حينئذ  
النصف من استعمال القوة في تحصيل التوازن وهذا كما رأيت في تحصيل

التوازن دون تحصيل الحركة لان تحصيل الحركة لا وفريه

ولنفرض حينئذ في زمن معلوم أن قطعة  $\overline{خ}$  تكون باقية على ثباتها  
وأن نقطة  $\overline{ح}$  تسير بقدر كمية  $\overline{ح}$  فيقتل قرص البكرة من  $\overline{ام ب}$   
الى  $\overline{ام ر}$  ولا يتغير طول الحبل ويلزم أن يكون  $\overline{خ ب م ا ح}$

$= \overline{خ - م ا ح}$  فاذا طرحنا من الحبلين طولى  $\overline{ام ب}$  و  $\overline{ام ر}$   
التساويين وطولى  $\overline{خ - ر}$  و  $\overline{ح ا}$  المشتركين بقى هذا التساوى وهو  
 $\overline{ع ح} = \overline{ا ا} + \overline{ب - ر} = \overline{ع ش}$

ولكن  $\overline{ع ش}$  يساوى الكمية التى تتقدم بها  $\overline{ر}$  الى  $\overline{ش}$  فاذا لم تكن  
قوة  $\overline{ح}$  الا نصف  $\overline{ر}$  لزم أنها تقطع ضعف المسافة التى تقطعها  $\overline{ر}$   
وحينئذ اذا ضربنا كلتا هاتين القوتين فى المسافة التى قطعنها فى زمن معلوم  
كان الحاصل واحدا وهو

$$\overline{ح} \times \overline{ع ح} = \overline{ر} \times \overline{ر ر}$$

ثم ان مسافتى  $\overline{ح ح}$  و  $\overline{ر ر}$  الصغيرتين يذلان على سرعتين المتيهتين  
لقوى  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  وما ذكرناه من التساوى يتضمن قاعدة تتعلق بالسرعة  
المتبهة وهى جارية فى سائر الآلات بسيطة كانت او مركبة وفى جميع ذلك  
ترى أنه اذا امكن بواسطة نقط الارتكاز حصول التوازن بين القوى الكبيرة  
والقوى الصغيرة عند وجود الحركة فان التعديل الحاصل بين القوى  
والمسافات المقطوعة يكون على وجه بحيث لا تزداد به كيات الحركة اصلا  
وفى الغالب تختلط البكرة الثابتة بالبكرة المتحركة كما نراه فى شكل ٦.

وبهذه الكيفية تعلق المصابيح المعدة للتنوير

وحبل  $\overline{ح ا ح ا ب خ}$  يمر حول بكرة ارث الثابتة ثم يمر حول

بكرة  $\overline{ابث}$  المتحركة التي يعلق بها ثقل  $\overline{ر}$  ثم يربط في نقطة  $\overline{خ}$  الثابتة

وليكن  $\overline{ح}$  هو الشد أو الجهد الحاصل للجيل المشدود بقوة  $\overline{ح}$  فلاجل

أن يكون توازن البكرة الثابت باقيا على حالة واحدة يلزم أن يكون  $\overline{ح}$

$= \overline{ح}$  ثم لاجل بقاء توازن البكرة المتحركة على حالة واحدة يلزم عند مد وثر

$\overline{اب}$  في القرص من نقطتي  $\overline{ا}$  و  $\overline{ب}$  اللتين يتقطع فيهما مس الجبل لهذا القرص تحصيل هذا التناسب وهو

$$\overline{ح} = \overline{ح} : \overline{ر} :: \overline{اث} : \overline{اب}$$

وهو شرط بسيط

فإذا فرضنا (شكل ٧) أن هناك عدة بكرات متحركة مختلفة بعضها

كان أولا جبل البكرة الاولى وهو  $\overline{خ اب ح ث}$  مربوطا في نقطة  $\overline{خ}$

الثابتة وفي نقطة  $\overline{ث}$  التي هي مركز البكرة الثانية وثانيا يكون جبل البكرة

الثانية وهو  $\overline{خ اب ح ث}$  مربوطا في نقطة  $\overline{خ}$  الثابتة وفي نقطة

$\overline{ث}$  التي هي مركز البكرة الثالثة وهلم جرا

فإذا كانت  $\overline{ح}$  و  $\overline{ح}$  و  $\overline{خ}$  الخ هي الشد والحاصلة من حبال

$\overline{بح}$  و  $\overline{ب ح}$  و  $\overline{ب خ}$  الخ حدثت هذه المعادلات وهي

$$\frac{\overline{اب}}{\overline{اث}} = \frac{\overline{ر}}{\overline{ح}}$$

$$\frac{\overline{اب}}{\overline{اث}} = \frac{\overline{ح}}{\overline{ح}}$$

$$\frac{\text{ح}}{\text{ح}} = \frac{\text{أث}}{\text{أث}}$$

فأذن يكون

$$\frac{\text{أب} \times \text{أب} \times \text{أث} \times \text{أث}}{\text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث} \times \text{أث}} = \frac{\text{ح}}{\text{ح}} \times \frac{\text{ح}}{\text{ح}}$$

ولننبه على أنه إذا قسمنا  $\overline{\text{ر}}$  على  $\overline{\text{ح}}$  ثم ضربنا خارج القسمة في  $\overline{\text{ح}}$  تحصل معنا عدد  $\overline{\text{ر}}$  وإذا قسمنا هذا العدد على  $\overline{\text{ح}}$  و  $\overline{\text{ح}}$  ثم ضربناه في  $\overline{\text{ح}}$  و  $\overline{\text{ح}}$  تحصل معنا هذا العدد بعينه فأذن لا يبق معنا الاكون مقاومة  $\overline{\text{ر}}$  المقسومة على القوة الاخيرة وهي  $\overline{\text{ح}}$  تساوى حاصل ضرب سائر النسب في بعضها وهي

$$\frac{\text{أب}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \times \frac{\text{أث}}{\text{أث}}$$

وهذه الحسابات كما ترى مختصرة جدًا فإذا كان وضع البكرات معلوما كانت

$$\text{نسب } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ و } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ و } \frac{\text{أب}}{\text{أث}} \text{ الخ معلومة ايضا ويمكن حينئذ أن نعين}$$

القوة التي لا بد منها في موازنة مقاومة معلومة والمقاومة التي لا بد منها في موازنة قوة معينة

ومثي كانت سائر القوى متوازية (شكل ٨) كانت حبال  $\overline{\text{أب}}$

و  $\overline{\text{أب}}$  و  $\overline{\text{أب}}$  الخ اقطارا لاقراص  $\overline{\text{أبث}}$  و  $\overline{\text{أبث}}$

و أَبْت الخ فلي ذلك تكون هذه الجبال ضعف انصاف اقطار

ا ث و أث و أث الخ فاذن تكون  $\frac{ر}{ح} = ٢ \times ٢ \times ٢$  الخ

بمعنى ان عامل ٢ يتكرر بقدر ما يوجد من البكرات المتحركة  
فاذا بحثنا في حالة الحركة عن نسبة المسافات التي قطعها القوة والمقاومة  
وجدنا المسافة التي قطعها مقاومة ر نصف المسافة التي قطعها  
قوة ح وهي على النصف من المسافة التي قطعها قوة ح وهي ايضا على  
النصف من المسافة التي قطعها قوة ح وهكذا وحيث ان تكون نسبة مسافتي  
هـ و هـ اللتين قطعتهما قوة ح ومقاومة ر هي

$$\frac{هـ}{هـ} = \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} \times \frac{١}{٢} \times ٢$$

وهذه الانصاف تتكرر بقدر ما يوجد من العوامل التي هي

$$\frac{ر}{ح} = ٢ \times ٢ \times ٢ \times ٢$$

وهذه هي النسبة الحاصلة بين المقاومة والقوة ثم اذا ضربنا هذين المقدارين  
في بعضهما حدث

$$\frac{٥ \times ر}{ح \times هـ} = \frac{١}{٢} \times ٢ \times \frac{١}{٢} \times ٢ \times \frac{١}{٢} \times ٢ \times ٢$$

المتحركة

$$١ = \frac{١}{٢} \times ٢ = ١ \text{ يحدث حيث } \frac{ر}{ح \times هـ} = ١$$

وذلك يقتضي أن مقاومة ر مضروبة في مسافة هـ التي قطعها في زمن ما



تساوى قوة  $\overline{ح}$  مضروبة في مسافة  $\overline{هـ}$  التي يلزم أن تقطعها في الزمن  
المذكور عند عروض الاختلال للتوازن على حين غفلة لاجل تحريك الآلة  
(وهذا من شواهد قاعدة السرعة المنبهة) ويستعمل غالبا في القنون  
البكرات التي لها أحبال متوازية تقريبا وهي عدة أقراص ثابتة مثل ١ و ٢  
و ٣ الخ (شكل ٩) و (شكل ١٠) موضوعة على حمالة ثابتة وعدة  
أقراص متحركة مثل ١ و ٢ و ٣ و ٤ موضوعة على حمالة متحركة  
ومثل هذه الحالات يعرف بالعبارة أو اليا لثك

وحيث إن الحبل يمر بالتوالي على ١ و ٢ و ٣ و ٤ و ٥  
فاذا كانت حبال  $\overline{ر}$   $\overline{ب}$  و  $\overline{ا}$  و  $\overline{ر}$   $\overline{ب}$  و  $\overline{ا}$  و  $\overline{ر}$   $\overline{ب}$  الخ  
متوازية كان الشد الحادث لكل منها مساويا للمقاومة مقسومة على عدد  
الحبال المذكورة وينبغي أن لا نعد آخر اثنتان حبل  $\overline{ا}$   $\overline{ح}$  لانه  
لما كان تأثيره مقصورا على البكرات ثابت كان لا يغير التوازن في شئ فاذن يمكن  
إبدال  $\overline{ح}$  بمساويتها وهي  $\overline{ح}$  المتجهة على امتداد  $\overline{ب}$  وحيث  
يحتقن حبل  $\overline{ا}$   $\overline{ح}$

وبناء على ذلك ينبغي أن لا نعد من الحبال إلا ما كان مبدؤه البكرات المتحركة  
مباشرة بمعنى أننا نعد لكل بكرة متحركة حبلين إذا كان مبدؤه الحبل الحمالة  
الثابتة (شكل ٩) وحبل واحد إذا كان مبدؤه الحمالة المتحركة  
(شكل ١٠) وهذه الحبال على العموم متوازية تقريبا ويجب اعتبار  
في العمل متوازية بدون خطأ بين فاذا كان هناك عدد غير محدود من  
البكرات المتحركة كعدد  $\infty$  فانه يتصل من الحبال ٢٢ في الصورة الأولى  
و ٢٢ + ١ في الصورة الثانية وهذه الحبال تكون بالسوية حاملة

للجهد الحادث من محصلة  $\overline{R}$  وكل منها يتحمل  $\frac{R}{2}$  وهو جزء من الجهد

او  $\frac{R}{1+2}$  وهو جزء منه ايضا لكن  $\overline{C} = \overline{H}$  هو شد  $\overline{B}$

فاذن تكون قوة  $\overline{C}$  مساوية لمقاومة  $\overline{R}$  مقسومة على ضعف عدد  
البكرات المتحركة (شكل ٩) وعلى ضعف هذا العدد زائدا واحدا  
(شكل ١٠)

وفي هذه الصورة كالتي قبلها تسهل البرهنة على أنه اذا تحركت الآلة قليلا  
كانت نسبة المسافتين اللتين قطعتهما القوة والمقاومة في زمن واحد كعكس  
نسبة هذه الاعداد

وذلك لانه متى هبط  $\overline{D}$  بكمية ما لزم أن تكون ابعاد  $\overline{B}$  و  $\overline{B'}$   
و  $\overline{B''}$  الخ و  $\overline{A}$  و  $\overline{A'}$  الخ متزايدة على حساب أطوال الهمبوط  
فاذن يكون الطول الكلي للبال من  $\overline{A}$  الى  $\overline{D}$  الخ متزايدا بقدر عدد الجبال  
ويلازم حينئذ أن يكون جبل  $\overline{A}$  المعلوم هو الذي احدث هذا الطول فتقطع  $\overline{C}$   
مسافة ذلك الطول فعلى ذلك اذا كان  $\overline{C}$  (شكل ٩) هو عدد الجبال  
فان نسبة مسافة  $\overline{R}$  التي قطعها  $\overline{R}$  الى مسافة  $\overline{C}$  التي  
قطعها  $\overline{C} :: 1 : 2$

لكن  $\overline{R} : \overline{C} :: 2 : 1$  فاذن تكون قوة  $\overline{R}$  مضروبة  
في المسافة التي قطعها  $\overline{R}$  تساوي قوة  $\overline{C}$  مضروبة في المسافة التي قطعها

$\overline{C}$  الخ ويبرهن ايضا على هذه القاعدة بث-كل ١٠

وتم نوعان من البكرات المركبة المعروفة عند العامة بالعبارات احدهما  
(شكل ٩ و ١٠) مركب من عدة اقراص بكرات موضوعة على محاور  
متفرقة مارة بجمالة واحدة وثانيهما مركب (شكل ١١ و ١٢) من  
عدة اقراص بكرات موضوعة على محور واحد ماز بجمالة واحدة وهذه

الاقراص متفرقة عن بعضها بفواصل ثابتة معتبرة كالحز من الجملة  
ولكل من النوعين المذكورين منافع ومضار في النوع الاول تكون  
اقراص كل عيار في مستو واحد مع الجبل الذي يمر بالتوالي من عيار  
الى آخر

وفي النوع الثاني يتغير مستوى هذا الجبل لاجل مروره من عيار الى آخر  
بحيث ان جميع اجزائه الموجودة في احدى جهتي العيارين وان كانت متوازية  
لا تكون موازية لجميع اجزائه الموجودة في الجهة الاخرى ولهذا الخلل  
الناتج عن التوازي مضرة هي ميل الاقراص بالنسبة لمحاورها وذلك  
يؤدي الى تغيير عينيها وربما تغيرت المحاور ايضا بسبب زيادة الاحتكاك  
ولا يكون هذا الضرر بينا متى كان العياران على بعد عظيم من بعضهما  
بالنسبة لتباعد الاقراص عن بعضها على محور واحد بخلاف ما اذا قربا من  
بعضهما فان الخلل الناتج عن التوازي يزداد ويحدث عنه مقاومات غير  
لائقة

وفي هذه الصورة تكون منفعة الاقراص الموضوعة على محور واحد دون  
منفعة الاقراص الموضوعة في جملة واحدة على محاور مختلفة

ولكن الاقراص في الصورة الثانية تشغل من المجال اكثر مما تشغله في الصورة  
الاولى فاذا كان المطلوب مثلا رفع اجمال لزم لذلك آلة تكون فيها نقطة تعليق  
العيارين مرتفعة عن المحل الذي يرتفع منه الحمل وهذا الار تفاع يكون  
بالاقل قدر الطول الكلي للعيارين وربما عظم هذا الطول اذا كانت  
كلتا الجمالتين محتوية على ثلاثة اقراص او اربعة وقد يعظم هذا الضرر  
لا سيما اذا وصلنا الى اعلى طبقات المنزل وكان المطلوب رفع الاجار اليها ويوعلى  
الميكانيكي أن يختار من النوعين ما تقتضيه الاحوال

فاذا كان الغرض من العيارات التوصل بها الى ظهور مقاومة كبيرة على  
قوة صغيرة وغلبتها لها لزم أن يكون لها سنبل كبيرة فبذلك تقطع القوة  
افقة كبيرة حتى تقطع للمقاومة مسافة صغيرة وهذا هو التعديل العام الذي  
هو كناية عن قاعدة تستنبط من تحولات سائر الآلات

## \* (بيان التناقل في البكرات) \*

إذا اعتبرنا البكرات اجساماً ثقيلة وأريد تحصيل مقدار الجهد الواقع على نقطة

خ الثابتة (شكل ٥) المتعلق بها البكرة المفروض تحركها في الفراغ

بلا معارض فانه يلزم اخذ المصلحة العمومية لقوة ح ومقاومة ر

وثقل جبل ح ا ب خ والبكرة بتمامها فإذا كانت م هي ثقل البكرة

بتمامها و ه ثقل الحبل حدث اربع قوى وهي م و ه و ح و خ

تكون محصلتها مساوية ومضادة لمقاومة ر لاجل حصول التوازن

ثم اذا لاحظنا ما يمر حول ث الذي هو محور البكرة وجدنا هذا المحور

يتصل أولاً جهد ح و خ وثانياً ثقل قرص البكرة وثالثاً ثقل

حبل ح ا و ب خ في صورة ما اذا كانت القوة تؤثر من اعلى الى اسفل

كما في شكل ٤ وحينئذ اذا كان م هو ثقل القرص الذي يكون مركزه

في ث لم أن يكون لقوى م و ه و ح و خ محصلة كلية

مارية بمحور ث ومساوية للضغط الحاصل من القرص على المحور

ومما يسهل مشاهدته أن ثقل القرص لا يغير شيئاً من نسب ح و خ

بالنظر للتوازن لكن كلما كان هذا الثقل عظيماً كان متعباً للحدود ونشأ عنه

احتكاكات فيلزم أن يكون ثقل القرص صغيراً مهماً امكن متى كان الغرض

أن البكرة تؤثر تأثيراً عظيمياً ما امكن

واما الحبل (شكل ٤) فانه في صورة ما اذا كان ثقله محمولا على المحور يكون

حمل هذا المحور قليلاً بقدر ما يكون ذلك الحبل خفيفاً

وما ذكرناه في هذا الشأن له اهمية عظيمة في استعمال الحبال والبكرات

في جوانب السفن واذا قطعنا النظر عما يتحصل من الوفرة العظيم في كمية

ما يستعمل من المواد في اقراص البكرات والحبال المارة بها يلزم لغلبة

المقاومة والظهور عليها بقوة اصغر منها أن تكون الحبال والاقراص خفيفة جدًا

وإذا كان المطلوب عمل اقراص معدنية خفيفة جدًا لزم مزيد الاهتمام في تجويفها من بين الحلق والمحور بواسطة تصاليب متفرقة كتصاليب عجلات العربات او فواصل رقيقة تجمع بين الحلق ومركز الدولاب كما في شكل ١٣

فإذا تحركت البكرة (شكل ٥) كان الجزء الاول من القوة وهو  $\overline{ح}$  موازًا لسائر المقاومات والجزء الثاني منها وهو  $\overline{ح}$  محز كاللحل والقرص ومقاومة  $\overline{ر}$  بكمية يذل تأثيرها على جميع ما لم تقدمه مقاومات الآلة

ولكن هذه الكمية تقاس أولاً بالمسافة التي قطعها  $\overline{ح}$  وثانياً بمجموع حواصل ضرب ثقل الحبل في المسافة التي قطعها هذا الحبل في جهة طوله وثالثاً بمجموع حواصل ضرب ثقل كل جزء من القرص في المسافة التي قطعها هذا الجزء فحينئذ يلزم تعيين هذا الجزء الثالث

وإذا قسمنا القرص إلى مناطق متساوية العرض وجدنا ثقلها مناسباً بالضغط لانصاف اقطارها فإذا قطعنا قرصين متحدى السمك ومختلفي القطر كان حجم كل منهما مناسباً لمربع قطريهما وإذا قسمنا هاتين الدائرتين (اعني القرصين) إلى اجزاء صغيرة هجومها على نسبة واحدة وفي اوضاع متشابهة كان مربع بعد المحور عن الاجزاء المتقابلة الموجودة في القرصين مناسباً لمربع نصفي قطرهما فاذن يصير حاصل ضرب حجم كل جزء في بعده عن المحور مناسباً لمربع القطر مضروباً في القطر نفسه اعني انه يكون مناسباً لمكعب قطر هذين القرصين وعلى ذلك فتكون كمية التحرك الحادثة في كل من القرصين مناسبة لمكعب قطرهما وهذا بالنظر إلى سرعتهما المنزوية فإذا زادت تلك النسبة كثيراً مع قطر القرصين لزم جعل الاقراص في البكرات الكبيرة صغيرة الحجم ما أمكن وهذه الغائنة يمكن تحصيلها من استعمال الحبال التي ليس لها بالنظر إلى قوة مفروضة الا قطر صغير قليلاً لمزيد جودتها وبالجمله فيمكن أن يكون عرض

القرص اقل من قطر الحبال لثلاثي تلك الحبال من احتكاكها بجوانب الثقب الذي هو محل القرص في صندوق البكرة

فاذا استعملنا من الحبال ما لا مقاومة له اصلا عند الانثناء على حلق البكرة فكلما كان قطر القرص صغيرا قل أن توجد قوة معدومة لاجل الظهور على انترسي هذا القرص عند تحريك القوة للمقاومة غير أن شد الحبال مقاومة عظيمة يلزم الاهتمام بتقويمها ومعرفة مقدارها

وسياق أن كلب الذي هو من مشاهير علماء الطبيعة عين المقاومة التي تعرض لتحرك البكرات من شد الحبال

ثم ان شوحية ١١ (شكل ١٤) تحمل أولا سطح ح ح الكبير بواسطة جبل الاختبار وهو ش ش الذي يدور مرة من جهتي الجين والشمال على ملف ب ب المتحرك وتعمل ثانيا سطح خ خ الصغير بواسطة جبل ش ش الصغير الذي يدور مرتين او ثلاثا على ملف ب ب في جهة مقابلة لجهة ش ش وينبغي الاهتمام بمنع الحبال من مماسة بعضها البعض للتأثير على وجه سهل

وقد يميل ملف ب ب الى الهبوط بسبب التأثير الناشئ أولا عن ثقله الاصل مع ذراع رافعة يساوي نصف قطر ذلك الملف وثانيا عن ثقل سطح خ خ مع ذراع رافعة يساوي قطر الملف المذكور فيمكن حينئذ اضافة نصف ثقل الملف الى ثقل حل خ خ لاجل تحصيل قوة واحدة تؤثر بواسطة ذراع رافعة يساوي قطر الملف فاذا كان ثقل الملف كبيرا نقص تأثيره بثقل ح ح المربوط في طرف جبل ش ش المار بكرة الردوي ر وكل وحدة من ثقل ح ح توازن وحدتين من ثقل الملف

وقبل اختبار جبل ش ش المراد قياس شدة يرتقي حتى يكون تقريبا كالحبال المستعملة عادة في الآلات وتتمر بجبل ش ش من فوق حلق البكرة وتربط في احد طرفيه ثقلا كافيا ثم يشد اناس طرفه الاخر فيرفعون

هذا الثقل او يحقضونه فبذلك يزول ما يوجد من الخلل في شد الحبال الحديدية التي تمنع من حصول النتائج المطلوبة

فاذا احترسنا بهذه الاحتراسات في منع الخلل عرفنا ثقل  $\overline{X}$  الذي لا بد منه لهبوط ملف  $\overline{B}$  وللظفر بمقاومة جبل  $\overline{C}$  ورأينا أنه بواسطة شدود عظيمة تكون تقريرا القوة اللازمة لثني الحبال على الاسطوانات المختلفة القطر أولا على نسبة مطردة بالنظر لشدود الحبال ومنعكسة بالنظر لقطر الملفات وثانيا تكون على نسبة مطردة بالنظر لمربع قطر الحبال وهذه النسبة تقرب من الصحة بقدر غلط الحبال

(والمقاومة الحادثة عن شد الحبال مركبة من جزئين احدهما ثابت والاخر آخذ في الزيادة بالنسبة للعمل ولا يمكن أن تكون الكمية الثابتة منسوبة الا الى الدرجات المختلفة التي تكون لشد الحبال والتواءها العارض لها عند عملها ويكون كل من فروع الحبل مشدودا بقوة على حدته ومحافظا على درجة شدة عند التواء هذا الحبل لان تلك الفروع المتلاصقة والمتعشقة ببعضها متماسكة بالاحتكاك وعلى ذلك فكل فرع من حبل مربوط به ثقل يكون مشدودا بنسبة تلايم ما يخصه من الثقل وما يعرض له من الالتواء عند ثقل الحبل لكن اذا كانت القوى اللازمة لثني الحبل مناسبة للشدود كانت تلك القوى مناسبة لكمية ثابتة زيادة على الثقل مربوط بالحبل وهذه الكمية الثابتة تتغير مع درجة الشد والالتواء العارضين للحبال عند عملها واما الحبال الحديدية المقنولة ثلاث مرات فتكون فيها تلك الكمية تابعة مع الضبط الكافي لنسبة مربعات اقطار الحبال فاذا استعملت الحبال زمنا طويلا ارتخت فروعها وتناقصت فيها الكمية الثابتة الناشئة عن شدّها الاصل)

واذا قابلنا مقاومات القن بمقاومات الحبال الصغيرة وجدناها اقل مما تدل عليه نسبة المربعات وذلك أن قطر البت المركزي يتزايد في الحبال الغليظة بدون أن تزيد المقاومة بنسبة واحدة عند الاثناء وحيث أن في القن الغليظة أن تكون جميع الفروع مشدودة مع التساوي كالحبال الرفيعة لان الحبال

المشودة كثيرا هي التي تقاوم كثيرا بجلال غيرها من الجبال فانها تلين بمجرد  
ليها من غير جهد

ويلاحظ تعيين التأثير الذي يصر من شد الجبال حين مطويتها وشم اشغال كثيرة  
لا سيما ما كان منها متوقفا على شدة الهواء كسير السفن والامطار وامواج البحر  
وغير ذلك يتبل فيها الجبال وتغير طبيعتها بحيث تكون على حالة تباين  
بالكلية حالتها وهي جافة

ويرى بمجرد النظر أن شد الجبال لا سيما اذا كانت غليظة يزيد زيادة بينة  
مق كانت مبلولة بالماء وترى في شكل ١٤ صورة الآلة التي تدل على أن  
هذا الزيادة تقاس بكمية ثابتة مهما كان الحمل الذي تحمله الجبال

وقد عملت تجارب كلبه الاولى في الجبال البيضاء وعمل غير الاولى منها  
في الجبال المقطرة (أي المدهونة بالقطران) فوجد أنه يلزم في هذين النوعين  
مهما كان الشد إضافة كمية ثابتة الى الجهود التي لابد منها في ثني الجبل  
المفروض انه ابيض جاف وليس بينهما كبير فرق كما قد يتوهم وذلك لان شد  
الجبال المقطرة لا يفوق على شد الجبال البيضاء الا بمقدار ١/٢

ومثل هذا الفرق مهم جدا لشهرته في العمليات وقد تستعمل الجبال البيضاء  
اذا اقتضى الحال استعمالها في البكرات والطناير ولو كنت بذلك عرضة  
لشد الهواء لخيئتد تجلط فشاها في القوي بالحرارة من توفير اجرة الشغالين  
يعادل ما يصرف فيها حين تبلى سريعا

وقد دلت التجربة على أن الجبل القديم المتطرون يكون شدة كش الجبل الجديد  
المتطرون تقريبا ثم وان كانت خيوط القنب يقل اشتدادها عند البلا الا أن  
تعرضها للهواء والمطر بمقدار القطران فيعادل تأثيرها تأثيرا جديدة

وقد ذكر كلب قواعد حسابية سهلة تتعلق بتطبيق ما استنبطه من النتائج  
على تقويم المقاومة وتقديرها عند انشاء الجبال المتنوعة على الاسطوانات  
او البكرات الملوحة الاقطار لكون شدة ودورها معلومة ايضا واذا اردت الوقوف  
على هذا التطبيق فعليك بكتاب هذا العالم الشهير



وقد علمت تجارب الجبال المقطرة في فصل الشتاء حين كان ترمومتر ويومور  
مرتفعاً عن الانجماد بخمس درجات اوتة فظهر أن الجليد يزيد في شدة هذه  
الجبال لاسيما اذا كانت عظيمة القطر وقد علمت ايضا تجربة الجبل المقطرون  
المؤلف من ١٥ فرما حين كان الترمومتر منخفضاً عن الانجماد باربعة  
درجات فوجد أنه يستلزم قوة اكبر (بسدس تقريبا) مما اذا كان الترمومتر  
مرتفعاً عن الانجماد بست درجات الا أن هذه الزيادة ليست تابعة للنسبة  
الاحمال لان الجزء الثابت من المقاومة في هذه الصورة هو الذي يزيد زيادة  
بينه

وها هنا نبيه يتعلق بسائر التجارب السابقة وهو انه متى كانت الجبال مثقلة  
بأثقال ورفع ملف **ب ب** (شكل ١٤) بأن ادبر بقوة الذراع ثم خلى  
وتفلس فسقط في الحال قل شد الجبل بحيث يكون على الثلث مما في تلك  
التجارب وهذا عام في سائر الجبال سواء كانت بيضاء او مقطرة قديمة او جديدة  
غير أنه في الغليظة والجديدة يكون اظهر مما في البالية والرفيعة وكذلك يكون  
اظهر في المقات الصغيرة من الكبيرة لكن اذا تركنا تلك الجبال ساكنة مدة من  
الزمن ورفعنا الملف من غير أن نخفضه وجدنا شد الجبل يزيد زيادة بينه لكن  
لا يصل الى الحد الذي حدده **ك ل** في تجاربه الا بعد أن يسكن ٥ دقائق  
او ٦ وعليه في التحرك المتردد الذي تكون فيه القوى معدة لرفع الثقل  
ونخفضه كما في تأثير آلات الدق المعدة لرفع الكبس او الشاگردان المستعمل  
لدق الخواير في الارض يكون شد الجبل اقل مما في التجارب المتقدمة  
ومن هذا القبيل الجبل الذي يترك مرتين متجاورتين \* ولكيلا يكون التحرك  
سريعا يلزم أن تكون القوة المستعملة في الظفر بشد الجبل عند التواءه على  
البكرة الثانية دون القوة المستعملة في ثنيه على البكرة الاولى وان كانت درجتها  
واحدة بالنظر للشد

ويؤخذ من التنبيه المذكور أن الاجراء المنتهية تاخذ في الاستقامة مع البطيء  
وأن الشد كبيرا كان او صغيرا يكون على حسب هذه الاستقامة

وزيادة على ذلك يلزم العمل بمقتضى هذا التنبيه في حساب آلات البحارة  
البطينة المتحركة ببطأ كافيا والتي بكراتها دائما على مسافات كافية من بعضها  
ليكون كل جزء من اجزاء الحبل عند مروره من بكر الى آخر مستوفيا للزمن  
الذي يستكمل فيه شدة وعلى ذلك فلا بد في تقويم الآلات غالبا من حساب  
المقاومات بالنظر للحالة التي تضرب بالقوى المتحركة

ثم ان الحواصل المكتسبة من الآلة المرسومة في شكل ١٥ ثبتت الحواصل  
المكتسبة من الآلة المرسومة في شكل ١٤

وذلك اتنا وضعنا مقلتي  $\overline{ط ط}$  و  $\overline{ط ط}$  الحاملتين للوحى  $\overline{د د}$  و  $\overline{د د}$   
ووضعنا ايضا للوحى  $\overline{م م}$  و  $\overline{م م}$  الغليظتين في موضع ضيق وجعلنا اعلاهما  
اقتيا واصلحناه اصلاحا تاما فكان بينهما فرجة طولية

ولم نزل نضع بالتوالي ملفات متنوعة على قاعدتين من البلوط حتى صار محور  
هذه الملفات (شكل ١٥) عموديا على هاتين القاعدتين اللتين اطرافهما  
مستديرة وحيث انهما على غاية من التساوى علقنا في طرفي الملف اقلالا قدرها  
٢٥ كيلوغراما بخيوط من الدبارة اللينة التي تبلغ دورتها ٤ ميليمترات  
ونصفا ولا يبلغ شدة اجزا من واحد من ثلاثين من شدة الحبل المركب من ٦  
فروع وقد تحصل ضغط معين على القاعدتين بواسطة عدة خيوط من الدبارة  
الموزعة على الملفات كل منها يحمل ثقلا يبلغ ٢٥ كيلوغراما في طرف  
كل ملف من تلك الملفات وبواسطة ثقل صغير يعلق بالتعاقب في جهتي الملف  
نختبر القوة التي تحرك هذا الملف تحريكاً مستمرا غير محسوس او تظفر أولا

بشد حبل  $\overline{ث ث}$  وثانيا باحتكاك الاسطوانة

وشدة الحبل دائما على نسبة منعكسة من قطر الاسطوانة

واما احتكاك الاسطوانة  $\overline{ب ب}$  الحاصل على مستواقي فهو على نسبة  
مطردة بالنظر للانضغاطات ومنعكسة بالنظر للتظفر فعلى ذلك كلما كان قطر  
الاسطوانات التي لها ثقل واحد كبيرا كانت مقاومة الاحتكاك صغيرة

ومثل ذلك واضح غالباً ويكثر في اشغال الزراعة استعمال الاسطوانات التي  
يداس بها على الاراضى المزروعة لتكسير ما فيها من المدر وتفتيته ودرس  
الحشائش التي عليها حتى تصير رفيعة ومساوية لحجم الارض ولا بد من تقيص  
مقاومة الاحتكاك بقدر الامكان بحيث يمكن للفرس الواحد أن يجتري دون  
مشقة اسطوانة طويلة او ثقيلة وهذا جار في انكلترا فترى الانكليز  
يستعملون اسطوانات مجوفة من الحديد الصلب جامدة بين الصلاية والخفة وكبر  
القطر وحيث انه في الاسطوانات المتساوية الجسم يكون مقدار ايتربى المخوف  
منها اكبر من مقدار ايتربى المصححة فان القوة المكتسبة من الاسطوانة تتغير  
في ادى النسب واصغرها بالموانع التي يلزم أن تقاومها الاسطوانة وتظفر بها  
ويجربى مثل ذلك في استعمال الجلات في النقل على اختلاف انواعه

وحيث انتهى الكلام على الاحوال الاصلية المتعلقة بتوازن البكرات  
المستعمل كل منها على حدته اومع بعضها بطرق مختلفة ناسب أن تقتصر على  
طرق صناعة هذه الآلات فنقول ان عمل البكرات من اهم فروع الصناعة  
لا سيما عند البصرة وله كيفية مخصوصة ويطلق اسم البكراتية على صناع  
هذه الآلات

ولم تعرض في كتابنا هذا لذكر البكرات المعدنية التي تصنع اجراؤها الاصلية  
بجواب مخصوصة معينة مع الاهتمام ومصنوعة على منوال الاشياء التي  
يصنعها الجبارون مع الضبط والاحكام ومسبوكة من الحديد والصلب  
ومشغولة على حسب قواعد صحيحة مضبوطة بل اقتصرنا على بيان صناعة  
البكرات الخشبية ونذكر ذلك فنقول

تصنع بكرات الخشب بعمل قرصها بالمشاور والمحرطة وصندوقها بالآلات القطع  
الخشبية بالآلات الخبار وصانع القباقيب وقد يصنع بالآلات اخرى صناعة  
مفيدة وهو مركب من اربعة وجوه كل اثنين منها موازيان لمستويي الثمائل  
الذين احدهما مواز لمستويات الاقراص والاخر عمود عليها

وقد اخترع برونيل الميكانيكي وهو من علماء القرن سابعة لاجل على الوجوه

المذكورة كاجراء الاسطوانة المستديرة طريقة بديعة في صناعة ذلك وهي أن  
تثبت على محيط عجلة كبيرة قطعا من الخشب بحجوة مجويفاً مربعاً وملازمة  
للبيكرات المطلوبة في الطول والعرض والسكن وبعد تثبيت تلك القطع على المحيط  
المذكور تثبيتاً جيداً ندير ذلك المحيط على وجه بحيث يكون تحركه منتظماً  
ثم نصنع الوجه الخارج لكل قطعة ويكون كل وجه من هذه الوجوه على  
شكل قوس اسطوانة قائمة مستديرة محورها هو عين محور العجلة وبعد ذلك ندير  
من الزاويتين القائمتين كل قطعة من قطع الخشب بحيث تصير وجوها  
الخارجة داخلية بالنسبة للدائرة التي تحملها ثم تحرك العجلة الكبيرة ونصنع  
وجوه القطع التي صارت خارجية ثم نأخذ هذه القطع ونضعها على عجلة  
جديدة لها قطر موافق وعند ذلك نصنع في كل صندوق الوجهين اللذين لم يصنعا  
وتكون صناعتها على شكل قوس اسطوانة مستديرة نصف قطرها مابين  
لنصف قطر الاسطوانة السابعة وتكون ملائمة لصورة الصندوق

فتكون القوة المحركة على طريقة بروينل حادثة من آلة بخارية وقد تكون  
حادثة من دوران الخيل او من قوة الماء او من قوة الناس والمطلوب انما انها  
تفاصيل العجلة وتحركها المستدير

وهناك صناعة اخرى لا بد منها وهو عمل الثقوب ذات الوجوه المستوية التي  
يوضع في كل منها قرص بكرة وهذه الصناعة اذا حصلت بالكيفية المعتادة  
بالمطرقة والمقراض كانت بطيئة صعبة بخلاف ما اذا كانت بمثقاب ثقوبه  
في طرف من اطراف الاقراص ثقباً اسطوانياً في جهة محل القرص يكون  
قطره مساوياً بالعرض هذا المثل ثم ننشر بمشارر رقيق جداً داخل في هذا الثقب  
من جهتي الجين والشمال جراً من الخشب المراد انزاله لاجل عمل محل القرص  
فانها بهذه الطريقة تكون سهلة

ولامانع من أن نستعمل في ذلك مقراضاً يكون له بواسطة قوة مستمرة  
تحرك متردد وهذه الطريقة هي التي اختارها العالم هويرت احد مهندسي  
البحارة

فاذا كانت البكرات تتحمل انضغاطا عظيما فان الضغط الذي يقع على محورها من قرص البكرة يكون قويا وينشأ عن ذلك من جهة أن هذا المحور ينزوي وتتغير صورته ومن اخرى أن الثقب المصنوع في قرص البكرة لاجل مرور المحور منه يتسع اتساعا غير متساو ما لم تكن قوة القرص واحدة في سائر الجهات ويعظم هذا الخلل في البكرات التي تكون محاورها واقراصها متخذة من الخشب ولو كانت المحاور من خشب صلب كالخشب الاخضر والاقراص من خشب آخر يعادله كخشب الانبياء

والاولى استعمال الجواهر المعدنية في المحاور والاقراص وقد عملت اقراص من حديد السبك شهيرة يخففها وتواصل اجزائها ويستحسن عادة أن تكون المحاور من الحديد والاقراص من الخشب وأن يحيط بمراكزها حلقة من النحاس بها فتحة مستديرة قطرها منطبق على قطر المحور انطباقا تاما

ثم ان فن تجويف الاقراص المتخذة من الخشب لاجل وضع لقمة من نحاس فيها هو من الاعمال الدقيقة اللطيفة التي يمكن اجراؤها على وجه تام بطرق ميكانيكية منتظمة كما يمكن عملها باليد وفي طريقة آلة برويل المتعلقة بصناعة البكرات كصفات عظيمة في عمل اللقمة وتجويف محل في القرص لاجل ادخال اللقمة فيه

وينبغي أن يكون وضع لقم البكرات في التجويف المعد لها على غاية من الاحكام ثم يثبت بلسقها به بحيث تكون ملتصمة به التحاما جيدا ولا يشترط أن تكون هذه اللقم متفقة في الصورة وانما يلزم أن تكون صورتها مباينة بالكلية لصورة الدائرة ليحصل منها نهاية ما يمكن من المقاومة عند الدوران في القرص لان اللقمة اذا دارت بهذه المثابة يعدم تحركها الصلابة الناشئة عن احكام وضعها وثم لقم مربعة واخرى مثلثة ولقم برويل على شكل زهر الربة مركبة من ثلاث دوائر مراكزها على بعد واحد من بعضها

\*(الدرس العاشر)\*

\*(في بيان التجنيق والطارات المضرسة)\*

المنجنيق (شكل ١) مركب من اسطوانة كاسطوانة  $\overline{أ ب ث د}$  وطارة مستديرة كطارة  $\overline{هـ ف}$  ولهما محور واحد وهما مثبتان ببعضهما بحيث لا تدور الطارة بدون أن تجذب الاسطوانة عند تحرّكها وهذه الاسطوانة يجعلها طرفا المحور وهما  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$  اللذان يدوران في ثقيين مستديرين على مسندين ثابتين وعلى تلك الاسطوانة يلتف حبل مثبت من احد طرفيه ومربوط في طرفه الآخر مقاومة كمقاومة  $\overline{ر}$  فتكون قوة  $\overline{ح}$  حيثند واقعة على محيط الطارة

وفي هذه الآلة يسهل معرفة النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة لانه يلزم لاجل دوران الاسطوانة على محورها أن يكون مقدار مقاومة  $\overline{ر}$  مساويا للمقاومة نفسها مضروبة في نصف قطر الاسطوانة

ويلزم لاجل دوران الطارة أن يكون مقدار قوة  $\overline{ح}$  مساويا لتلك القوة نفسها مضروبة في نصف قطر الطارة

ولاجل حصول التوازن يلزم امران الاول أن يكون المقداران المذكوران مؤثرين في جهتين متضادتين والثاني أن يكونا متساويين وهذا هو السبب

في اهتمامهم دائما بإدارة طارة  $\overline{هـ ف}$  في جهة مضادة لاتجاه مقاومة  $\overline{ر}$  التي يراد التغلب بها

ولنفرض الآن أن المطلوب تعيين الضغطين الحاصلين على  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$  اللذين هما طرفا المحور واصبع الاسطوانة

فاذا كانت قوة  $\overline{ح}$  مارة بمحور الاسطوانة وكانت تقطعا  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$  موجودتين في مستوى هذه القوة امكن بدون واسطة تحليل قوة  $\overline{ح}$  الى قوتين موازيين لها ومارتين بنقط  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$  على التناظر .

فاذا لم تكن قوة  $\overline{ح}$  مارة بمحور الطارة فلا مانع من تحليلها كما تقدم (في الدرس الخامس شكل ١٦) وهذا بالنظر الى قوة  $\overline{أ س}$  التي لم تمر بمركز ثقل الجسم الذي حرّكته

فلتفرض اذن عوضا عن قوة  $\overline{ح}$  أولا قوة  $\overline{ح}$  المساوية والموازية لها  
والمارة بنقطة  $\overline{و}$  التي هي مركز الطارة وثانيا قوتين مساويتين  $\frac{1}{2} \overline{ح}$   
ومتجهتين على وجه بحيث يديران الطارة في جهة واحدة ويؤثران في طرفي  
قطرها ولما كان تأثير هاتين القوتين اثما هولا جل دوران الطارة على مركزها  
بدون أن ينفذ ذلك المركز الى اى جهة كانت لم ينفذ ايضا مسندى  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$   
الى اى جهة كانت

لحينئذ يكون ضغطا  $\overline{ح}$  و  $\overline{ح}$  الحاصلان على مسندى  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$   
حادثين من قوة  $\overline{ح}$  المساوية والموازية لقوة  $\overline{ح}$  والمؤثرة في نقطة  $\overline{و}$   
التي هي مركز الطارة تأثيرا يكون على مستقيم واحد مع هذين المسندين  
فاذن تحدث هاتان المعادلتان وهما

$$\overline{ح} = \overline{ح} + \overline{ح} \text{ و } \overline{ح} \times \overline{وم} = \overline{ح} \times \overline{ون}$$

$$\text{او } \overline{ح} \times \overline{من} = \overline{ح} \times \overline{وم} \text{ و } \overline{ح} \times \overline{من} = \overline{ح} \times \overline{ون}$$

وبمثل ذلك يبرهن على أن مقاومة  $\overline{ر}$  تحدث على مسندى  $\overline{م}$  و  $\overline{ن}$   
ضغطي  $\overline{ر}$  و  $\overline{ر}$  بحيث تحدث هاتان المعادلتان وهما

$$\overline{ر} = \overline{ر} + \overline{ر} \text{ و } \overline{ر} \times \overline{م} = \overline{ر} \times \overline{ن}$$

$$\text{او } \overline{ر} \times \overline{من} = \overline{ر} \times \overline{م} \text{ و } \overline{ر} \times \overline{من} = \overline{ر} \times \overline{ن}$$

وحرف  $\overline{س}$  هنا يدل على النقطة التي يكون فيها الاتجاه مقاومة  $\overline{ر}$  ساقطا  
سقوطا عموديا على محور الاسطوانة  
ويؤخذ من هذه المعادلات مباشرة أن

$$\overline{ح} = \overline{ح} \times \overline{وم} = \overline{ح} \times \overline{ون} = \overline{ر} \times \overline{من} = \overline{ر} \times \overline{م} = \overline{ر} \times \overline{ن}$$

وهذه مقادير بسيطة سهلة الحساب

فاذا كانت قوتا  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$  مارتبتين بنقطة  $\overline{م}$  وقوتا  $\overline{ح}$  و  $\overline{ر}$   
مارتبتين

مارتين بنقطة ن سهل تحصيل محصلتها وهي الضغط الكلي الحاصل على  
مسندى م و ن من القوة والمقاومة  
ثم ان اسهل الصور في هذا المعنى واعما هو ما كانت فيه قوة ح موازية  
لمقاومة ر فعلى ذلك تكون ح و ر و خ و ز متوازية ايضا  
وتكون محصلة ح و ز هي ح + ز ومحصلة خ و ز  
هي خ + ز وهذه هي الصورة التي يقع فيها على المسندين اعظم ضغط  
يمكن بالنظر لمقدارين مفروضين للقوة والمقاومة

فاذا لم تكن القوة والمقاومة متوازيتين فان ح و ز و خ و ز  
لا تكون ايضا متوازية ابدا فتكون م س هي محصلة ح و ز  
و ن س هي محصلة خ و ز وذلك بواسطة متوازي الاضلاع للقوى  
المهيئة بمستقيمتين م ح و م ز و ن خ و ن ز

وحيث كانت القوة دائما واقعة على مستوى الطارة فان الضغط الحاصل منها  
للمسندين يبق على حاله لا يتغير لكن اذا كانت المقاومة حاصلة في طرف الحبل  
الذي يلف او ينشر تدريجا بحيث يتكون منه حلزون على اسطوانة المنحنيق  
فان تلك المقاومة تنقل تارة الى احد المسندين واخرى الى الاخر وبذلك يزداد  
الضغط الحاصل على المسند الاول لينقص الضغط الحاصل على الثاني وهذا  
بحسب النسب المتقدمة وحينئذ اذا كانت المقاومة مجاورة بالكلية لاحد  
المسندين فانها تحدث عليه ضغطا يكاد يكون مساويا لقوته الكلية بخلاف  
الضغط الحاصل على المسند الآخر فانه يكاد يكون معدوما ومتى كانت  
المقاومة على بعد واحد من المسندين صار الضغطان متساويين  
هذا ويلزم عمل المنحنيق على وجه بحيث تكون صلابته كافية لان يقاوم مسنداء  
اعظم ضغط ممكن

ثم ان المنحنيق كغيره من الآلات المتقدمة التي اختبرنا تأثيرها يقطع فيه النظر



عن ثقل الآلة ويقطع النظر ايضا عن قطر الحبل المقروض انه صغير جدا  
والاوجب أن تكون قوة  $\overline{ح}$  ومقاومة  $\overline{ر}$  واقعيتين على اتجاه محور الحبل وبناء  
على ذلك يضاف الى قطرى الاسطوانة والطاردة نصف قطر الحبل المستعمل  
وبالجملة فتى اثرت قوة  $\overline{ح}$  (شكل ٢) على حبل  $\overline{أ ب ح}$  الذى له  
سمك معين وشدت جميع اجزائه بالسوية فان هذا الحبل يكون مستديرا وتكون  
محصله سائر الجهود ذات الحاصلة فى كل جزء على كل فرع من الحبل مازة بمركز  
هذا الحبل واذن يمكن أن نعتبر قوة  $\overline{ح}$  المحلولة لاجل التاثير فى جميع فروع  
الحبل كأنها واقعة على محور الحبل المذكور وحينئذ يكون مقدار هذه القوة  
مساويا  $(\overline{ث} + \overline{أ}) \times \overline{ح}$  اعنى انه يكون مساويا لنصف قطر  
الطاردة زائدا نصف قطر الحبل مضروبا فى القوة

فاذا اعتبرنا الآن تأثير حبل  $\overline{س ر}$  المشدود من احد طرفيه بمقاومة  $\overline{ر}$   
والملقوف من الطرف الاخر على اسطوانة  $\overline{ث}$  ظهر لنا بهذين الامرين  
أن تأثير قوة  $\overline{ر}$  الحاصل على الاسطوانة هو كتابة عن مقدار  $(\overline{ث} + \overline{س})$   
 $\times \overline{ر}$  اى نصف قطر الاسطوانة زائدا نصف قطر الحبل  
مضروبا فى المقاومة المؤثرة فى هذا الحبل

وعلى ذلك فى الخنجى الذى نصف قطر طارته  $\overline{ث أ}$  ونصف قطر اسطوانته  
 $\overline{ث س}$  ونصف قطر حبله المشدود بقوة  $\overline{ح}$  المؤثرة فى الطاردة  $\overline{أ أ}$   
ونصف قطر حبله المشدود بقوة  $\overline{ر}$  المؤثرة فى الاسطوانة  $\overline{س س}$   
يكون شرط التوازن هو مساواة حاصل ضرب القوة فى مجموع نصفي قطرى  
الطاردة والحبل المشدود بهذه القوة لحاصل ضرب المقاومة فى مجموع نصفي  
قطرى الاسطوانة والحبل الذى يشده هذه المقاومة

فاذا كان المطلوب أن القوة او المقاومة تقطع مسافات كبيرة لم يكف فى ذلك  
وضع صف واحد من ادوار الحبال على الطاردة بل يلزم لذلك غالبا وضع صفين  
او ثلاثة ولا يخفى أن القوة فى كل صف جديد تكون متباعدة بالتدريج عن  
المحور يبعد واحد وهو قطر الحبل فى كل دور وبذلك يزداد كثيرا بعد المركز عن

اتجاه القوة ويلزم الاعتناء بضبط العملية عند تقويم النسبة الحاصلة بين المقاومة والقوة في حساب توازن مخنيق واحد او اكثر تقويم مضبوطا ثم ان غلط الحبال لا يغير شيئا من وضع مركز الطارة بالنظر للقوة ولا من نقطة المحور التي يتوهم فيها اسقاط المحصلة لاجل التأثير على المساند فعلى ذلك لا يتغير بغير غلط الحبال شيء من الضغط الحاصل على المساند

ولكن اذا تحرك المخنيق فان غلط الحبال يضم مقاومته الخصوصية الى سائر المقاومات ويكون كما تقدم على نسبة مطردة بالنظر للشدود البسيطة ومربع قطر الحبال وعلى نسبة منعكسة بالنظر لقطر اسطوانة المخنيق او طارته او نصف قطرها ويؤخذ من ذلك انه ينبغي في استعمال المخنيق مزيد الاهتمام بعمل حبال تكون قوتها عظيمة جدا بالنظر لقطر مفروض

ولنلاحظ ما ينشأ عن القوة والمقاومة من التأثير الظاهر الواقع على عمود المخنيق فنقول انه بواسطة تأثير قوة  $\overline{ح}$  تجبر الاسطوانة او عمود المخنيق على الدوران في نقطة  $\overline{و}$  (شكل ١) نحو  $\overline{ح ح}$  الذي هو اتجاه تلك القوة وبواسطة تأثير مقاومة  $\overline{ر}$  يجبر ذلك العمود ايضا على الدوران في  $\overline{س}$  نحو  $\overline{ر ر}$  الذي هو اتجاه تلك المقاومة المقابلة لاتجاه نقطة القوة فاذا لم يكن العمود من كذا من مادة لا تتغير فان هذين التأثيرين المتضادين يؤثران فيه كثيرا او قليلا و يلتوى التواء مناسباً لمقدارى القوة والمقاومة

وسأبقى في الدرس المعقود للبريمة تفصيل ما يتعلق بتأثير قوة الالتواء وصورة الحلزونات التي تكاد تجعل الالياف المستقيمة اسطوانات اى اعمدة تستعمل في الآلات وذلك من اهم الاشياء في متانة العمارات ومكثها

\*(بيان تأثيرات التناقل في المخنيق)\*

وما اسلفناه في شأن تأثيرات التناقل في البكرات يجري ايضا في شأن التأثيرات الحاصلة على المخنيق والطارات المضروسة

ومن القوى المعدومة ما يستعمل في التطوير باينرسي الاسطوانة والطارة ويلزم ان يضاف الى الانضغاطات الواقعة على كل محور وكل نقطة من نقط

الارتكاز الضغط الرأسى الحاصل من ثقل طارة الاسطوانة والحبال  
واما الحبل الذى يلتف من طرف على اسطوانة المنجنيق او المعطاف ويربط  
من الطرف الآخر بالمقاومة فانه عند التضافه على الاسطوانة يقطع ثقله  
بالتدريج عن أن يكون جزءاً من المقاومة الاصلية ويكون جزءاً من المقاومة  
التي تعرض لها من الاسطوانة وبذلك يكاد يتقص في كثير من الصور المقدار  
الكلى للمقاومة

ولاجل بقاء هذا المقدار الكلى على حاله دائماً يستعمل في الغالب ثقل معلق  
بطرف الحبل مقابل للثقل الذى يشد المقاومة فينفرد الحبل حينئذ من جهة  
الثقل بقدر ما يلتف من جهة المقاومة وبالعكس وبالجملة فالحبل يلتف دائماً  
على الاسطوانة بهذا القدر وبناء على ذلك تكون النسبة الحاصلة بين القوة  
والمقاومة واحدة دائماً حتى صارت سرعة التحركات منتظمة

ثم ان الضغط الحاصل على المحاور ونقطة الارتكاز يعظم بقدر ثقل الاسطوانات  
والطارات التي تتركب منها الآلات المستعملة فيلزم اذن أن تكون اتصالاتها  
صغيرة مهما امكن لكي تقص بقدر الامكان المقاومات الحادثة من الآلات  
وسياًنى توضيح ذلك في الكلام على الاحتكاكات

وتستبدل في الغالب طارة المنجنيق بذراع رافعة تكون القوة واقعة عليه  
فاذا كان هذا الذراع مستقيماً يسمى قضيباً \* والمناويله وهى الملوى هى في العادة  
رافعة منكسرة بهما قبض تكون يد الانسان عليه كالقوة ( شكل ٣ )

وفي الغالب يستعمل بدلا عن قرص البكرة لاجل تحريك عمود المنجنيق  
طارات ذات مدرجات واخرى ذات طناير فاما ذات المدرجات ( شكل ٥ )  
فيصعد على مدرجاتها الغائرة في بين محيط الطارة وشماله كما يصعد على درج  
سلم التسلق ويحصل التحرك اذا كان حاصل ضرب جهد ثقل الصاعد في بعد  
مركز الطارة عن الخط الرأسى الممتد من ثقل ذلك الصاعد يزيد على حاصل  
ضرب ثقل المقاومة في بعد محور الطارة والاسطوانة عن الخط الرأسى الممتد  
من مركز ثقل تلك المقاومة

وقائدة هذه الآلة هي ان الصاعد على المدرجات يكون بعيدا ما يمكن عن الخط  
الرأسي الممتد من مركز الطارة وبناء على ذلك يعظم تأثيره بقدر الامكان  
كلما فرضت الطارة كبيرة

وهناك طارات اخرى عريضة ومجوفة في داخلها مسلك يمر منه الشغالون  
المنوطون بتسيير الآلة وفي هذه الصورة كالتي قبلها تقاس النسبة الحاصلة  
بين القوة والمقاومة وسيأتي في الدرس الحادي عشر المختص بالمستويات  
المائلة بيان كيفية وقوع قوة الصاعدين يانافيا

ويكثر في بلاد الانكليزا استعمال الطنابير التي تقع عليها قوة الانسان بطرق  
متنوعة ولنقرض طنابورة او اسطوانة كبيرة القطر على محيطها درجات  
صغيرة بارزة مثبتة على بعد واحد من بعضها موضوعة على وجه بحيث  
يسهل على من تكون يدها متكئة على قضيب افقي أن يصعد عليها خطوة بخطوة  
بدون احتياج الى مدرج عليه مدّا كبيرا ثم ان الانخفاض المعتدلين لتحريك  
الطنابورة يقفون بجانب بعضهم ويقبضون بايديهم على القضيب الافقي المذكور  
واما ارجلهم فانهم عند نقلها يضعونها بالتعاقب على الدرجات المزدوجة  
او غير المزدوجة لتدويرها الاسطوانة وهذا الشغل المخترع للمسجونين  
معدود من العقوبات الشديدة ويؤخذ من ذلك أن قوة الناس المؤثرة يمكن  
أن تستعمل في تحصيل امور نافعة فاذا كانت المقاومة واقعة على محيط سهم  
الطنابورة كانت نسبة المقاومة الى القوة كنسبة بعد محور الطنبورة عن الخط  
الرأسي الممتد من مركز ثقل الشغالين الى نصف قطر سهم الطنبورة المذكورة  
والارعات الاقية هي آلة مركبة من اسطوانة اقية كاسطوانة المنجنيق  
ومن قضبان او روافع غائرة من احد طرفها في ثقب مصنوعة على محيط  
الاسطوانة من جهة طرفها واما الطرف الاخر من القضبان فانه يقع عليه  
تأثير جهد ايدى الشغالين ونسبة القوة الى المقاومة هنا كنسبة نصف قطر  
السهم زائدا نصف قطر الحبل الذي تربط به المقاومة الى بعد المحور عن النقطة  
التي يقع عليها تأثير ايدى الشغالين

ولامانع من استعمال الآلة المذكورة في جوانب السفن وتستعمل ايضا في عربات النقل الضيقة الطويلة المعروفة بالكاميون وفي هذه العربات يوضع سهم آلة الارغات امام الجملات ويكون الحبلان الملتقان على السهم مربوطان من طرفيهما في النهاية الخارجة من العربية موضوعين فوق البضائع فاذا كان تأثير الجهد حاصل بواسطة قضبان الآلة المذكورة لاجل لف الحبلين كثيرا فانهما يجبران على أن يكونا دائما في مسافة صغيرة وعلى ضم البضائع لبعضها وحرزهما بحيث لا يمكن وقوعهما بالتأثير الناشئ عن الارتجاج

ويكثر استعمال المنجنيق وآلة الارغات في الصناعة فترى يبلاد انكلترة على واجهات المخازن الكبيرة المعدة للتجارة خيوطا رأسية لاجل اسناد الشبايك وترى ايضا فوق واجهة الشباك الزائد عن غيره في الارتفاع بكرة ثابتة دائما في طرف الحلقة التي تكون تارة بارزة من الحائط وتارة ملصوقة به وذلك على حسب ما يراد فاذا كان المطلوب رفع بضائع او تنزيلها فانهم مربوطونها في طرف حبل يمر ببكرة ثابتة ويصل الى المخازن فيلتف على سهم المنجنيق المتحرك تارة بالمانويل وتارة بالجملات وما اشبه ذلك ومن المهم استعمال الآلات البسيطة لاسيما المنجنيق في تجارات فرنسا

ثم ان آلة العيار (المعدة لرفع الاحجار) هي من متعلقات المنجنيق والغرض منها امران احدهما رفع الحمل او خفضه وثانيهما وضعه في محل لا يكون على الخط الرأسى المقابل لوضع الحمل الاصلى فيلزم عمل حلقة تدور على السهم الرأسى ويكون في طرفها الاعلى قرص بكرة ثابتة وفي طرفها الاسفل سهم المنجنيق او آلة الارغات المتحركة بأحدى الطرق السابقة اعني القضبان او الطنابير

فاذا اقتضى الحال اخراج ما في السفن من البضائع ووضعها على الرصيف وكان العيار موضوعا على طرف ذلك الرصيف القريب من السفن فانما ندير حلقة العيار الى النقطة التي يكون فيها القرص الثابت في الذراع الاعلى من الحلقة موضوعا رأسيا على قنطرة السفينة ( المعروفة عند الملاحين بالكويرته ) التي يراد ترفيعها وتربط البضاعة في طرف الحبل الذي يمر بالبكرة

الثابتة ويلتف على اسطوانة المنجنيق ثم توجه تأثير القوة المعدة لتحريك هذا المنجنيق الى الجهة اللازمة لرفع الحمل فانما وصل هذا الحمل الى الارتفاع اللازم ابطلنا دوران المنجنيق وندير الحلقة على سهمه حتى تصل الى النقطة التي يكون فيها الحمل المعلق في تلك الحلقة موضوعا رأسيا على الرصيف فحينئذ يقع على القوة تأثير المقاومة ويبطئ الحمل بواسطة تأثير ثقله حتى يصل الى الرصيف او العربة التي تكون مسامطة لهذا الحمل ثم ان اغلب العيارات يتحرك بواسطة قوة البشر ومنها ما يتحرك بقوة البخار وقد ذكرنا من هذه الآلات ما هو اكثر استعمالا في الجزء الثالث من رحلتنا الى بلاد بريطانيا الكبرى (قوة تجارية داخلية) وذكرنا ايضا تلك الآلات امثلة عديدة مع ما يلزم لها من الاشكال الهندسية وهي قليلة الحجم كثيرة الصلابة لتكون جميع اجزائها من الحديد

ولابد في عمل العيارات مع الضغط أن يكون صانعها له اليد الطولى في الهندسة والميكانيكا حتى يجعل لاجزائها المتنوعة اشكالا وتناسبات تنفع جدا في ضبط الحركات وتلطيفها ولا بد ايضا أن تكون الاجزاء المتحركة من العيار خفيفة بقدر الامكان وأن تكون صلبة على حسب ما تقتضيه الضرورة لان قوة انزلي الاجزاء الثقيلة جدا تستلزم في نظير ما ينعدم منها جهدا يترتب عليه توفيرها وما ذكرناه سابقا من القواعد وما سنذكر منها في هذا الجزء له شواهد واضحة في صناعة العيار وغيره من سائر الآلات التي هي من قبيل المنجنيق

ومن الآلات الشبيهة بالمنجنيق آلة رفع الاثقال المعروفة بالعيوق وهي مركبة من سهم افقي موضوع قريبا من قاعدة المثلث الحادث من عارضة افقية وقائمين مائلين ومن بكرة مثبتة في الرأس الذي يلتصق فيه القائمان ببعضهما وهذا المثلث الذي قاعدته على الارض يكون ممسكا من رأسه بساق ثالث مائل الى جهة تضاد الجهتين الاوليين فاذا كان المطلوب رفع حمل فان هذه الآلة توضع على وجه بحيث يكون الحمل بين سيقان الآلة الثلاثة ويكون احد طرفي الحمل المار بالقرص الثابت ممسكا للعمل والطرف الاخر ملتقا على سهم المنجنيق

المتمركزة بواسطة القضبان او الروافع و كثيرا ما تستعمل الآلة المذكورة في اشغال الطوبجية وقد تقدمت صورتها ( في شكل ٧ من الدرس الرابع من الجزء الاول )

والمعطاف ( شكل ٨ ) هو منجنيق محوره رأسى والقضيب او القضبان المعدة لتحريكه اقضية

و يتحقق التوازن في العيوق والارغاف والمعطاف متى كان حاصل ضرب القوة في طول ذراع الرافعة الواقعة على طرفه هذه القوة مساويا لحاصل ضرب المقاومة في نصف قطر الاسطوانة زائدا نصف قطر الحبل الذي تكون هذه المقاومة مربوطه به

فاذا كان هناك عدة قضبان وعدة قوى واقعة عليها لم ضرب كل قوة في طول ذراع رافعها واخذ مجموع هذه الحواصل وهذا المجموع هو الذي يكون مساويا لمقدار المقاومة

وليس تأثير تناقل الآلة على نقطتي الارتكاز واحدا في المنجنيق والمعطاف اذ في المعطاف يكون السهم المعروف بالمرس رأسيا وتكون القوة والمقاومة متجهتين اتجاها اقصيا فيكون تأثيرهما على نقطتي الارتكاز ضعة طا اقصيا وينشأ عن تناقل سهم المعطاف وقضبانها ضغط رأسى لاعلى المحيط المستدير المعد لدخول اصبعي السهم بل على القاعدة الموضوعة تحت ذلك السهم في اتجاه المحور وهذه القاعدة التي هي في العادة مجوفة كالطيلسان الكروي تعرف بالسكرة

ولا يتأق في المعطاف حسبا هو مشاهد أن يكون الضغط الافقى الواقع على نقطتي الارتكاز ناشئا الا عن تأثير القوة والمقاومة لان ثقل الآلة لا يدخل له في ذلك بالكلية

ويستعمل المعطاف غالبا في الاشغال الداخلية لاجل جبر الاحمال حرا اقصيا فتزحلق هذه الاحمال على الملفات الاسطوانية المخدعة من الخشب والحديد وقد تترحلق على عجلات صغيرة او اكر تجرى في افارير مجوفة وسبب اختراع

هذه الطريقة الأخيرة انهم ارادوا تقل كتلة عظيمة عليها صورة بطرس الاكبر  
في مدينة سفت بترسبورغ

ويستعمل المعطاف ايضا في الفنون الحربية لاسيما في الطوبجية لاجل اجراء  
اشغال هذه القوة العسكرية في الترسانات والمعسكرات والمحاصرات

وكذا يستعمل مع الاستتمام في جوانب السفن لاجل اجراء لازمها واشغالها  
ومضاف السفن الاكبر (شكل ٧) على صورة سهم رأسي يتشب الكوبريتين  
ويستقر على سكرجة موضوعة في الكوبريتة المستعارة ويحيط به السهم  
في احدى الكوبريتات المتوسطة جرس على شكل مخروط عوضا عن أن يكون  
على شكل اسطوانة ولا بد أن يكون على محيط هذا الجرس عدة دوار من الحبل  
المعدلشد المقاومة ويلزم أن نوضح هنا تأثير هذه الصورة المخروطية فنقول

قد سبق أن الخطوط الحلزونية المرسومة على سطح الاسطوانة هي اقصر خطوط  
يمكن رسمها بين نقطتين على مثل هذا السطح وعليه فتكون القوى الواقعة  
على طرفي الحبل المثنى على صورة خط يرمي حول الاسطوانة في اتجاه هذا  
الخط البرمي شاذة بالضرورة للحبل المـ كور في اتجاه ذلك الخط البرمي  
وفي هذا الوضع تكون القوتان المؤثرتان بمماس الخط البرمي مائتين بالنسبة  
لاضلاع الاسطوانة او بالنسبة للمحور غير أن اتجاه القوة والمقاومة يكون  
كما سبق في تعريف المنحنيق والمعطاف عموديا على اتجاه الاضلاع ومحور السهم  
وحيث لا تؤثر المقاومة الواقعة على الطرف الخالص من الحبل المثنى أثناء  
حلزونية على سهم المنحنيق او المعطاف في اتجاه الخط الحلزوني فان تنشأ عن تأثير  
هذه القوة اختلال الحبل واضطرابه بحيث لا يسبق على الاتجاه الحلزوني الذي  
كان عليه وينشأ عن تأثير المحصلة ضغط شديد لحز الحبل المثنى كما سبق أثناء  
حلزونية على محيط السهم بحيث اذا انضم حره هذا الحبل الى بعض امتداد الخط  
البرمي شيئا فشيئا حتى يصير المماس لهذا الخط البرمي في اتجاه المحصلة التي  
يحصل فيها الحلل ايضا

وحيث انه يلزم في تحريك المعطاف أن تقطع المقاومة بواسطة هذه الآلة مسافة



كبيرة تساوى طول قنة مثلالها من الامتار عدة مآت فاذا تصورنا ان القنة ملتفة مباشرة على جرس المعطاف لزم أن تحدث ادوارا كثيرة على نفسها وبذلك يزداد قطر الجرس وتنقص شدة القوة

ويمكن تدارله هذا الخلل بواسطة حبل غير متناه يعرف بالحبل البرمى وذلك انه يوجد في هذا الحبل على ابعاده عقد معتبرة كنقط منع ووقوف لاجل ربط القنة التي يراد شد هابه فتدير هذا الحبل خمسة ادوار او ستة دورانا حلزونيا على جرس المعطاف وكلما دار المعطاف التف طرف الحبل البرمى الاسفل وانفرد طرفه الاعلى فاذا كان الجرس اسطوانيا فانه يستقر على التحرك بهذه الكيفية حتى يصل الحبل البرمى في اقرب وقت الى اسفل ذلك الجرس فيستبدل حينئذ بين الجرس و سطح كويرة السفينة او يجبر على الالتفاف من جهة مضادة لجهته ليتحصل صف آخر من الحبل الملتفوف على الجهة الاولى ولكن لا تغفل أن صورة جرس المعطاف مخروطية ومخوفة من اسفلها فعلى ذلك يتحصل من تحليل القوى على ماسنذكره في شأن المستوى المائل انه كلما قوى شد الحبل البرمى بتأثير المقاومة قوى ايضا ضغط هذا الحبل لاجل رفع جزء الحبل البرمى المثني كما سبق ان شاء حلزونيا وبكفي هذا الضغط من زمن الى آخر في رفع سائر الادوار والحزونة ودفعها الى اعلى

وهذا التأثير الاخير ينشأ ايضا عن كون جرس المعطاف بعد أن كان مخروطيا لايسهل به رفع الحبل في سائر الاوقات صار سطح دوران مخوفا من جزء المتوسط كسطح الجرس الذي اخذ منه اسمه وكلما التف الحبل على هذا الجرس وهبط الى اسفل كان على قطعة مخروطية مخوفة جدا وهذا الميل كما سيأتى في مجتأ المستوى المائل يكسب شد الحبل قوة عظيمة حتى يرفع سائر الادوار والحزونة الحادثة على الجرس وينقلها الى الجزء الاعلى من المعطاف وبهذه الطريقة البديعة يجبر الخلل المتقدم

وبالجملة ففي الحالة التي يكون فيها الحبل البرمى عندهبوطه الى اسفل الجرس ملتفا على نفسه مع وجود صورة الجرس يتلاقى الحبل المذكور مع

عجلتي ر و ر الصغيرتين البارزتين اللتين يكون محورهما موضوعا على  
محيط قاعدة جرسين ويكون على هاتين العجلتين مستوى ١١ المائل  
الذي يدفع الحبل الداعي بحججه على الصعود

فإذا فرضنا حيث أنه يوجد عدة منجنيقات او معاطيف مثل **أ ب ث**  
و **أ ب ث** و **أ ب ث** الخ (شكل ٩ و ١١) موضوعة على وجه  
بجيت تكون **ح** هي القوة المؤثرة على جبل المنجنيق الاول ويكون جبل  
**ب أ** ملتفا من احد طرفيه على اسطوانة المنجنيق الاول ومن الطرف الاخر

على جملة الثاني ويكون ايضا جـ بـ أ ملتقا على اسطوانة المنجنيق الثاني  
وجملة الثالث وهكذا وفرضا ايضا ان ر و ر و ر الخ هي شذوذ  
حاصلة لجمال متنوعة لزم أن تكون ر و ر و ر الخ معتبرة على التوالي  
كقوة المنجنيق الثاني والثالث والرابع الخ  
فأذن تحصل هذه التناسبات الدالة على حالة التوازن وهي

$$ج : ر :: ثب : ثا , \frac{ثب}{ثا} = \frac{ج}{ر}$$

$$ر : رَ :: شَب : شَأ , \frac{شَب}{شَأ} = \frac{ر}{رَ}$$

رُ : رُ :: ثُب : ثَا ,  $\frac{\text{رُ}}{\text{ر}} = \frac{\text{ثُب}}{\text{ثَا}}$

فإذا ضربنا الحدود الاول من هذه المتساويات في بعضها والحدود الثانية في بعضها ايضا تحصل معنا

$$\frac{\text{ح} \times \text{ر} \times \text{ر} \times \text{ر} \times \text{ح}}{\text{ر} \times \text{ر} \times \text{ر} \times \text{ر} \times \text{ح}} = \frac{\text{ش} \times \text{ب} \times \text{ش} \times \text{ب} \times \text{ش}}{\text{ش} \times \text{أ} \times \text{ش} \times \text{أ} \times \text{ش}}$$

وإذا قطعنا النظر عن الحدود التي يحجب بعضها بعضا تحصل معنا

$$\frac{\text{ح} \times \text{ش} \times \text{ش} \times \text{ش} \times \text{ش}}{\text{ر} \times \text{ش} \times \text{ش} \times \text{ش} \times \text{ش}} = \frac{\text{ح}}{\text{ر}}$$

وعلى ذلك تكون نسبة القوة للمقاومة في عدة منجنيقات او معاطيف كنسبة حاصل ضرب انصاف اقطار سائر الاسهم الى حاصل ضرب انصاف اقطار جميع العجلات

فاذا اردنا أن ندخل في هذا المقدار قطر الجبال لزم أن يكون التوازن حاصلًا متى كان حاصل ضرب القوة في انصاف اقطار العجلات التي كل نصف قطر منها يزيد بقدر نصف قطر الجبل الملقوف على العجلة المقابلة له مساويًا لحاصل ضرب المقاومة في انصاف اقطار الاسطوانات التي كل نصف قطر منها يزيد بقدر نصف قطر الجبل الملقوف على الاسطوانة المتبالة له

ثم ان الطريقة الالية تستعمل غالبًا في تحويل قوتك دوران من محور مفروض الى محور موازله وكيفية استعمالها أن نثبت على كل من محوري  $\text{ش}$  و  $\text{ش}$  (شكل ١٠) قرصين  $\text{ش}$  و  $\text{ش}$  ونحيطهما بجبل  $\text{ا ا ب}$  غير المتناهي الذي يوجد به فروع صغيرة قريبة جدًا من بعضها ومربوطة في تجويفات مصنوعة في محيط القرصين لمنعها عن التزحلق فانما كانت  $\text{ح}$  هي القوة المهركة للعجلة الكبيرة والمؤثرة في طرف ذراع رافعة  $\text{ش د}$  كان  $\text{ش د} \times \text{ح}$  هو مقدار القوة المذكورة راذا كان  $\text{ط}$  هو ثقل الجبال لزم أن عجلة  $\text{ش ا ب}$  تكون  $\text{ح} \times \text{ش د} = \text{ط} \times \text{ش ا}$  فاذن يكون

$$\text{ط} = \text{ح} \times \frac{\text{ش د}}{\text{ش ا}}$$

وإذا كان  $\text{ر}$  هو المقاومة المؤثرة في طرف ذراع  $\text{ش د}$  فنحصل معنا بلا واسطة شرط التوازن وهو

$$\text{ر} \times \text{ش د} = \text{ط} \times \text{ش ا} \quad \text{فاذن} \quad \text{ط} = \text{ر} \times \frac{\text{ش د}}{\text{ش ا}}$$

غير أن شد  $\overline{\text{ط}}$  الحاصل من القوة يكون عين شد  $\overline{\text{ط}}$  الحاصل من المقاومة

$$\text{وبناء على ذلك تكون } \overline{\text{ح}} \times \frac{\text{شد}}{\overline{\text{شأ}}} = \overline{\text{ز}} \times \frac{\text{شد}}{\overline{\text{شأ}}}$$

فاذا فرضنا أن  $\overline{\text{شد}} = \overline{\text{شد}}$  تحصل  $\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شأ}} = \overline{\text{ز}} \times \overline{\text{شأ}}$

وهذا من شروط التوازن البسيطة جدا

ولنفرض في حالة التحرك أن ذراع  $\overline{\text{شد}}$  الذي تكون قوة  $\overline{\text{ح}}$  واقعة عليه يحدث دورة في زمن  $\overline{\text{ط}}$  ثم ننظر كم دورة يحدثها في هذا الزمن ذراع  $\overline{\text{شد}}$  الذي تكون مقاومة  $\overline{\text{ر}}$  واقعة عليه

فيدور قرص  $\overline{\text{أب}}$  دورة كاملة في مدة دورة  $\overline{\text{شد}}$  وتقطع كل نقطة كنقطة  $\overline{\text{آ}}$  على الحبل غير المتناهي مسافة تساوي محيط العجلة غير أن كل نقطة من نقط العجلة الصغيرة تكون مربعة الحركة كالحبل غير المتناهي لأن المفروض أن الحبل دائما لا يتزحلق بطول العجلات فاذن تقطع نقطة  $\overline{\text{آ}}$  في مدة زمن  $\overline{\text{ط}}$  على عجلة  $\overline{\text{أه}}$  مسافة تساوي محيط  $\overline{\text{أب}}$  وحيث أن طول المحيطات مناسب لطول انصاف الاقطار يكون محيط  $\overline{\text{أه}}$  الصغير محصورا في الكبير بقدر انحصار نصف القطر الصغير في الكبير وحيث أن نقطة  $\overline{\text{آ}}$  تحدث دورات بقدر انحصار  $\overline{\text{شأ}}$  في  $\overline{\text{شأ}}$  حتى تقطع على العجلة الصغيرة مسافة تساوي محيط العجلة الكبيرة

فاذا ضربنا عدد الدورات في مقدار المقاومة وهو  $\overline{\text{ر}} \times \overline{\text{شد}}$  تحصل معنا

$$\overline{\text{ر}} \times \overline{\text{شد}} \times \frac{\overline{\text{شأ}}}{\overline{\text{شأ}}} \times \text{محيط } \overline{\text{أب}}$$

وهي كمية مساوية بالضبط لقوة  $\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شد}} \times \text{محيط } \overline{\text{أب}}$

$$\text{حيث أن } \overline{\text{ح}} \times \frac{\text{شد}}{\overline{\text{شأ}}} = \overline{\text{ز}} \times \frac{\text{شد}}{\overline{\text{شأ}}} \text{ يحدث منه}$$

$$\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شد}} = \overline{\text{ز}} \times \frac{\overline{\text{شأ}}}{\overline{\text{شأ}}} \times \overline{\text{شد}}$$

وبناء على ذلك يحدث

$$ح \times ش \times د \times محيط ه \times اب = ر \times ش \times \frac{ش}{ا} \times محيط ه \times اب$$

وتوجد هنا ايضا المساواة التي تكون دائما باقية على حالة واحدة بين كيتي تحرك القوة والمقاومة في تحرك الآلات المتواصل

و يكثر استعمال الآلة التي ذكرناها آتفا في حرفة الخراطة وتستعمل ايضا في الحرف الهينة كمن السكاكين وكذلك في فن الغزل كالقرص الذي به يغزل الخيط

وفي ذلك القرص تكون قوة ح هي رجل الغازل المؤثرة في طرف المانويله بواسطة د واسه تنكي عليها تلك القوة مرة واحدة في كل دورة

ويستعمل غالبا في الورش التي يحتاج فيها الى مجهودات عظيمة سيور عريضة عوضا عن الحبل غير المتناهي الذي يدير الجهتين و ربما استعملت السلاسل عوضا عن الحبال

وقد تستعمل السلاسل المسننة التي تكون كلباتها الصغيرة منضمة الى بعضها بمحاور او بمسامير بارزة من الجهتين وداخله في ثقب مصنوع في الطرفين المثلثين من القرص الذي لا يمكن تحريكه بدون السلسلة

ويمكن بواسطة الطارات المضرسه (شكل ١٢) عدم استعمال ما ذكر من الحبال والسيور والسلاسل وتحويل التحرك من طارة الى اخرى مباشرة لانه اذا قابلنا جيتدين طارقي  $\overline{ا ه}$  و  $\overline{ا ر ه}$  متى كانتا متحركتين بوتر  $\overline{ا ا ر ب}$  (شكل ١٠) او كان لهما اضراس متعشقة ببعضها مباشرة (شكل ١٢) وجدنا في كلتا الحالتين ان كل نقطة من نقط  $\overline{ا ه}$  و  $\overline{ا ر ه}$  تتحرك بسرعة واحدة الا ان  $\overline{ا ه}$  (شكل ١٢) يدور من الشمال الى اليمين و  $\overline{ا ر ه}$  بالعكس اي من اليمين الى الشمال واما الطارات المفردة (شكل ١٠) فتدور في جهة واحدة

وحيث كانت نقطتا  $\overline{ا}$  و  $\overline{ا}$  (شكل ١٠) متحركتين في السرعة فان نقطة  $\overline{ا}$  تحدث على  $\overline{ا ه}$  دورة كاملة حين تحدث  $\overline{ا}$  على  $\overline{ا ر ه}$



الى جهة تحرك  $\overline{\text{شاه}}$  وقوة  $\overline{\text{ن}}$  المتجهة الى جهة المقاومة الواقعة  
على الطارة الثانية وهى  $\overline{\text{شاه}}$  لزم لاجل حصول التوازن أن تكون  
هاتان القوتان متساويتين بالبداية

ولتكن قوة  $\overline{\text{ح}}$  مؤثرة على  $\overline{\text{اه}}$  فى طرف ذراع رافعة  $\overline{\text{شد}}$  ومقاومة  
 $\overline{\text{ر}}$  مؤثرة على  $\overline{\text{اه}}$  فى طرف ذراع رافعة  $\overline{\text{شد}}$  فيحدث

$$\overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شد}} = \overline{\text{م}} \times \overline{\text{شو}}$$

$$\overline{\text{ر}} \times \overline{\text{شد}} = \overline{\text{م}} \times \overline{\text{شو}}$$

$$\text{فاذن يكون } \overline{\text{ح}} \times \overline{\text{شو}} = \overline{\text{شد}} \times \overline{\text{ر}}$$

فعلى ذلك يعلم أولا انه حيث كان  $\overline{\text{شد}}$  و  $\overline{\text{شد}}$  معلومين فكلما كان

$$\overline{\text{شو}}$$
 صغيرا كبر  $\frac{\overline{\text{ح}}}{\overline{\text{ر}}} = \frac{\overline{\text{شو}}}{\overline{\text{شد}}}$  وثانيا حيث كان  $\overline{\text{شد}}$

و  $\overline{\text{شد}}$  ملازمين لحالة واحدة فان  $\overline{\text{ح}}$  و  $\overline{\text{ر}}$  يكونان على نسبة منعكسة  
عن نسبة  $\overline{\text{شاه}}$  و  $\overline{\text{شاه}}$  اللذين هما نصف قطرى الطارتين المضرسيتين  
فبناء على ذلك اذا كانت الاولى ضعف الثانية او ثلاثة امثالها او اربعة امثالها  
كانت مقاومة  $\overline{\text{ر}}$  المعادلة لقوة  $\overline{\text{ح}}$  ايضا ضعف هذه القوة او ثلاثة امثالها  
او اربعة امثالها

وهنا آلة تشبه الطارات المضرسية وهى عجلة العربات

وليست الاجسام الطبيعية منتبهة بسطوح مصقولة صقلا تاما وانما هى  
منتبهة بسطوح خشنة متضرسية بتضاريس بارزة كثيرا وقليل لانه اذا صعدت  
الاجسام المصقولة صقلا تاما بالمكرسكوب (وهى النظارة المعظمة) وجدت  
بها تضاريس بارزة وبناثير هذه التضاريس يتعين تحرك عجلات العربة

وذلك ان العجلة اذا كانت مصقولة صقلا جيدا وكانت الارض افقية فان  
العجلة حين تجذبها القوة الافقية تمس الارض دائما بدون أن يعرض لها ادى  
مقاومة الا أنه بالتناقل تتعشق اضراس العجلة بتضاريس الارض فتقف العجلة

وتجبر على الدوران ثانيا حيث انه يعرض لها في كل وقت مقاومة جديدة لعدم جزأ من سرعتها حتى تقف عن الدوران بالكلية ما لم تتجدد القوة المعدومة وقد شوهد في عدة اماكن من بلاد الانكليز سكك من الحديد مضرسة تدحرج عليها عرباب ذات عجلات مضرسة ايضا وكلاهما شاهد واضح على ما استقناهم من أن السطوح المصقولة كثيرا او قليلا وكذلك السكك المسطحة والعجلات الاعتيادية لا تتخلو عن الحرسه فاذا فرضنا أن العجلات المضرسة اسطوانية او مخروطية وان محاورها بناء على ذلك متوازية او متباعدة عن بعضها فان نسبة القوة للمقاومة ليست دائما عين نسبة ابعاد النقطة التي تتماس فيها الاضراس مع الاسهم المتناظرة التي تصل القوة بالمقاومة

ثم ان صناعة العجلات المضرسة هي من ادق الصناعات وذلك انها تستلزم مراعاة القواعد الهندسية المضبوطة المتعلقة بتقسيم الدائرة (راجع خواص الاسطوانات في الدرس الثالث والثامن من الجزء الاول وكذلك خواص المخروط في الدرس الرابع عشر منه)

فاذا كان المطلوب صناعة عجلات ذات قطر كبير لزم مزيد الالتفات الى القواعد الهندسية في صناعة الاضراس لانها من الامور المهمة ولا بد ايضا أن تكون العجلات دائرية على وجه بحيث تنطبق نقط الضرسين المتناسين على بعضها كاتطبق عجلى العربى على الارض بدون أن تترحلق احدهما وتحتك على الاخرى حتى يكون سيرها على وفق المرام من سرعة او بطى

وهناك مؤلفات في علم الميكانيكا تشتل على حل مثل هذه المسائل حلانا ما فن اراد ذلك فعليه بها (منها رسالة الالات للمهندس هاشيت وهى رسالة جلية نافعة)

وعوضا عن استعمال عدد قليل من الاضراس الكبيرة البارزة القصيرة كما كان ذلك سابقا استصوب استعمال عدد كثير منها وجعلها قليلة البروز والعرض طويلة عن المتقدمة ليكون لها صلابه كافية فيسهل حينئذ رسم صورة



الاضرار ويكتفى في ذلك أن يكون جانبها على صورة مستطيل زواياه البارزة  
منفرجة قليلا وتكون مستديرة استدارة خفيفة في الواجهتين العموديتين  
على محيط العجلة وهذه الآلة عند تحركها في مبداء الامر تبرى الاجراء البارزة  
جدا وان لم يذ كر ذلك في النظريات لكنها بالاستعمال تصير مستحسنة لطيفة  
واغلب صناعات الآلات والساعات الكبيرة يسلكون هذا المسلك في طاراتهم  
المضرسة الاعتيادية غير أن استدارة هذه الطارات تكون تامة

فيستعمل صناعات الساعات الكبيرة طارات لا صراسها صور متنوعة ومتباينة  
بالكلية منها ما هو على شكل محيط اسطوانة (شكل ١٧) ولطارات الخبز  
او المنع (شكل ١٦) (وهي آلات تدير الى جهة وتنع الدوران الى اخرى)  
ان صراس مستننة ومائلة الى ذراع الرافعة الذي يمنع العجلة عن الرجوع والتأخر  
واذا حصل عند التأخر والرجوع ضرر كبير او خطر في التحرك المستدير لزم  
المبادرة الى آلة المنع ما لم يستعمل لذلك الحاجز المسمى بالرامم الا في ذكره  
في الدرس الثالث عشر المتعلق بالاحتكاك

وفي الغالب يستعمل التركيب الآتي وهو أن احدى الطارات المضرسة  
تستبدل باسطوانة مضرسة منيرة تعرف بالفانوس (شكل ١٥) وتركب  
هذه الاسطوانة من عدة قضبان مستديرة ومحاورها على بعد واحد من بعضها  
وتكون على محيط مستدير ويكون في المسطحين المصنوعين على شكل دائرة  
ثقب مربع يعرف بالعاشق يدخل فيها اطراف القضبان المربعة المعروفة  
بالعشوق وحيث ان الفانوس المذكور ليس الا طارة مضرسة فان نسبة  
القوة للمقاومة تقوم بمقتضى القاعدة المطردة التي سبق توضيحها

والكريك وهي نوع من المنجنون (شكل ١٨) آلة يكون محور طارتها  
المضرسة وهو **اب** ثابتا واما قضيبها المستقيم المضرس وهو **ف**  
فانه يكون منحركا بواسطة العجلة

ويوجد في الكريك البسيطة ما نؤيله كما نؤيله **ث ب** تحركها

طارة آ المضرس المتعشقة بقضيب هـ ف المضرس وفي هذه الآلة  
تكون نسبة القوة الى المقاومة هي  $\frac{ح}{ر} = \frac{ث}{ثأ}$  وترى في هذا  
التساوى أن  $\frac{ث}{ثأ}$  هي نسبة المسافتين المقطوعتين في زمن واحد بالقوة

والمقاومة

واما الكريك المركبة (شكل ١٩) فلها مانوية تؤثر على الترس الصغير الاول  
المتعشق بالجملة التي على محورها ترس صغيران متعشق مباشرة بقضيب الكريك  
ويجعل  $\overline{د}$  و  $\overline{ك}$  رمزين الى نصفي قطري المانوية والجملة و  $\overline{ز}$  و  $\overline{و}$   
رمزين الى نصفي قطري الترسين المذكورين يحدث معنا في هذه الحالة الجديدة  
شرط التوازن وهو

$$\overline{ح} \times \overline{د} \times \overline{ر} = \overline{ك} \times \overline{و} \times \overline{ز}$$

مثلا اذا كان  $\overline{د}$  ثلاثة امثال  $\overline{ز}$  و  $\overline{ك}$  ثلاثة امثال  $\overline{و}$  فنحصل معنا  
 $\overline{ح} \times ٣ = \overline{و} \times ٣$  او  $\overline{ح} = \overline{و}$  فاذا كانت قوة  $\overline{ح}$   
موازنة لقوة اكبر منها ٩ مرات واما في الابعاد التي يقع فيها القضيب المضرس  
مباشرة على الترس الصغير الاول فان قوة  $\overline{ح}$  لا تكون موازنة للقوة اكبر منها  
٣ مرات غير انه اذا اريدت تحصيل التحول يلزم أن قوة  $\overline{ح}$  تقطع ٩ مرات  
مقدار من المسافة اكثر من المقاومة

### \*(الدرس الحادي عشر)\*

في بيان التوازن على المستويات الثابتة والمستويات المائلة وسلك الحديد  
التي مستوياتها مائلة

قد اعتبرنا فيما تقدم نقطة ثابتة في توازن الرافعة ومستقيما او محورا ثابتا في توازن  
قرص البكرة والمجنون وماشا كلهما ولنبحث الان عن توازن القوة المؤثرة  
على مستوي ثابت بفرض هذا المستوى مصقولا مقللا جيدا فنقول

لكيلا يحصل ادنى تحرك من قوة ح ث (شكل ١٠) الدافعة لنقطة ث المادية على مستوى أ ب الثابت يلزم أن تكون هذه القوة عمودية على المستوى المذكور

فإذا كانت القوة المذكورة عمودية على المستوى الثابت فإن النقطة المادية لا تتحرك في جهة أكثر من أخرى مضادة لها بل تبقى ساكنة حيث أن كل شيء يصير ممائلا في اتجاه القوة وفي شكل المستوى المعتبر في سائر الجهات وإذا كانت قوة ح ث المذكورة مائلة (شكل ٢) أمكن حلها إلى قوتين أحدهما وهي ش خ متجهة على المستوى المتقدم والآخرى وهي ش ح عمودية على هذا المستوى وحيث أن تأثير هذه القوة الأخيرة منعدم بالمستوى المذكور لم يبق إلا القوة ش خ وحدها فتؤثر في اتجاه ش أ ولا يحصل لها ادنى مقاومة وبذلك لا يمكن حصول التوازن

ولنفرض الآن أن هنالك عدة مامن القوى مثل ش ح و ش خ و ش ر الخ (شكل ٣) كلها دافعة لنقطة ث المادية على مستوى أ ب فيلزم جعل كل قوة منها في طرف الأخرى بدون أن يتغير اتجاهها ثم يغلق مضلع القوى بمستقيم آخر يذل مقسداً واتجاهها على محصلة هذه القوى فيبتذل يحصل التوازن (شكل ٣) إلا في الصورة التي تكون فيها ش ر أعني محصلة سائر القوى المذكورة عمودية على المستوى الثابت فإذا لم يحصل التوازن فإن نقطة ث المادية (شكل ٤) تتحرك على طول المستوى الثابت كما لو كانت مدفوعة بقوة ش ر المنفردة المساوية لمسقط محصلة ش ر على المستوى الثابت

ولنفرض بذلاً عن النقطة المادية جسم ث هـ ف (شكل ٥) المدفوع على المستوى الثابت بقوة ح فيلزم أن يكون اتجاه ح مائلاً بنقطة ث متى كانت هذه النقطة وحدها مشتركة بين المستوى والجسم لأنه إذا فرضنا أن قوة ح تمر بنقطة أخرى من نقط المستوى الثابت كنقطة ث

واقعا هذه القوة في نقطة الجسم وهي  $\overline{د}$  القريبة بالكلية من المستوى  
الثابت على  $\overline{ح}$   $\overline{ث}$  لم يكن هناك مانع يمنع قوة  $\overline{ح}$  من دفع نقطة  $\overline{د}$   
حتى تمس المستوى فتجذب حيثئذ جسم  $\overline{ث}$   $\overline{د}$  كله فاذن لا يحصل  
التوازن

ولابد أن تكون قوة  $\overline{ح}$   $\overline{ث}$  دائما عمودية على المستوى الثابت حتى  
لا تنصل الى قوتين احدهما عمودية يعدهما المستوى والثانية متجهة الى  
جهة ذلك المستوى من غير أن يعارضها شيء

فاذا اثرت عدة قوى في الجسم لزم أن تمر بمحصولها بنقطة  $\overline{ث}$  وأن تكون  
دائما عمودية على المستوى الثابت ليبقى الجسم متوازنا دائما

فاذا فرضنا الآن أن الجسم يس على المستوى في نقطتي  $\overline{آ}$  و  $\overline{ب}$  (شكل ٦)  
لزم أن تكون المحصلة الكلية لسائر القوى المؤثرة في الجسم منخلة الى قوتين  
تتزان بالنقطتين المذكورتين

وبالجمله فليكن  $\overline{رر}$  هو المسقط الرأسى (شكل ٦) لمحصلة سائر القوى

وليكن  $\overline{أ ب}$   $\overline{ش ش}$   $\overline{ش ش}$  المساقط الاقية لافضاء نقطتي  $\overline{آ}$  و  $\overline{ب}$  الثابتتين

ونقطة  $\overline{ر}$  التي تلاقي فيها المحصلة المستوى الثابت

فيمكن أن نمد أولا من  $\overline{ش ش}$  و  $\overline{ش ش}$  مستقيما  $\overline{ش ش}$   $\overline{ش ش}$  ونجعل

قوة  $\overline{رر}$  الى قوتين موازيتين لقوة  $\overline{رر}$  احدهما وهي  $\overline{ح}$  واقعة على

$\overline{ب}$  والاخرى وهي  $\overline{خ}$  واقعة على اى نقطة كانت مثل نقطة  $\overline{ث}$  من مستقيم

$\overline{ب ر ث}$  وحيث ان قوة  $\overline{ح}$  عمودية على المستوى الثابت ومارة بنقطة  $\overline{ب}$

التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى لا يمكن أن يتغير توازن المستوى فلم يبق

حيثئذ الا قوة  $\overline{خ}$  التي لا يدور بها الجسم الا اذا لم تكن نقطة  $\overline{ث}$  مشتركة بين

هذا الجسم والمستوى الثابت مالم تكن نقطة  $\overline{ث}$  المذكورة موجودة

بين  $\bar{A}$  و  $\bar{B}$  لأنها إذا كانت موجودة خلف واحدة منهما بما قلبت الجسم إلى تلك الجهة

ولنفرض جسما مستندا من نقطه الثلاثة وهي  $\bar{A}$  و  $\bar{B}$  و  $\bar{C}$  (شكل ٧) على مستوئيات ونصل بين تلك النقط الثلاث بمستقيمات  $\bar{AB}$  و  $\bar{BC}$  و  $\bar{CA}$  فلاجل أن يكون الجسم الواقع عليه تأثير قوة ما كقوة  $\bar{C}$  متوازنا يلزم أولا أن تكون هذه القوة عمودية على المستوى الثابت وثانيا أن لا تكون النقطة التي تلاقى فيها تلك القوة المستوى الثابت موضوعة خارج مثلث  $\bar{ABC}$  لأنه بدون ذلك لاشئ يمنع القوة عن إيقاع الجسم من الجهة التي تكون هي موجودة فيها

فإذا كان الجسم المستند على المستوى الثابت عدة نقط بدلا عن نقط الارتكاز الثلاث لزم أن نصل بين كل نقطتين منها بمستقيم بحيث يحدث من ذلك شكل مضلع مغلق انغلاقا تاما خال عن الزاوية الداخلة فحينئذ تكون شروط توازن الجسم المدفوع بالقوة هي أولا كون هذه القوة عمودية على المستوى الثابت وثانيا أن لا يكون اتجاهها الممتد إلى المستوى الثابت خارجا عن المضلع المذكور

وإذا اعتبرنا تناقل الاجسام عند اقترانها ببعضها وعند حساب مواد الالات كانت صور التوازن المتنوعة على غاية من الوضوح

وما ذكرناه في شأن الاجسام الموضوعة على المستويات يجري كله في الاجسام الموضوعة على سطوح اياما كان شكلها سواء كانت تلك الاجسام مركبة من اجزاء مستقيمة او منحنية ويلزم دائما أن تكون محصلة القوى المؤثرة في الجسم منخلة إلى قوى مارة بنقط الارتكاز وعمودية على السطح الثابت وكذلك يلزم أن لا تكون هذه المحصلة مارة من خارج المضلع الخالي عن الزوايا الداخلة الحاد من المستقيمات الواصلة بين نقط الارتكاز

وفي الفنون عمليات كثيرة جارية على حسب تلك القواعد \* مثلا يلزم لاجل

توازن قلم النقش عند دفعه باليد على اى سطح كان أن يوجه عموديا على هذا السطح حتى لا يتزحلق وأن يكون دفع القوة في اتجاه رأسه الى سنه والواقع او تزحلق

فإذا كان الجسم مدفوعا على مستو ثابت وكان مستندا عليه بأكثر من ثلاث نقط لزم أن تراجع في هذه المسئلة القواعد المقررة في شأن هذا الجسم ومماثلته لنعم القوانين التي يحصل بها تدارك الضغط الواقع من الجسم في كل نقطة من نقط تلاقيه مع المستوى الثابت

وذلك لان هنالك صورة شهيرة تبين فيها مقدار هذا الضغط بلا واسطة وهي التي يتكون فيها من جميع نقط التماس على المستوى الثابت شكل منتظم وتكون فيها القوة الدافعة للجسم على ذلك المستوى متجهة الى جهة بحيث تمر مركز هذا الشكل وإذا فرضنا أن الجسم متماثل بالنسبة للمستويات التي تمر على التناظر بمحاو تماثل المضلع او الشكل المنتظم الحادث من نقط التماس كان الضغط الواقع على كل من هذه النقط واحدا فعلى ذلك يكون الضغط الواقع على كل جزء من اجزاء سطح التماس مساويا للقوة الدافعة للجسم على المستوى الثابت مقسومة على عدد هذه النقط

ويكثر في الفنون استعمال عدة عظيمة من الاجسام الموضوعة على المستويات الثابتة في نقط موضوعة وضعا مرتبا على حسب ما تقتضيه قواعد التماثل المذكورة آنفا

وقد يستند الانسان وغيره من الحيوانات ذوات الارجل ثقل اجسامهم على ارجلهم التماثلة التي مستوى تماثلها هو عين مستوى الجسم فعلى ذلك يكون الضغط الواقع على كل رجل واحدا \* وفي الامور الصناعية يجعل لاغلب الاشياء المستعملة ثلاث نقط او اربع من نقط الارتكاز ويطلق على اجزاء الجسم التي تباشر الارض اسم الارجل لعلاقة المشابهة بينها وبين الارجل الحقيقية لانها في الغالب تكون على صورة رجل الانسان وغيره من الحيوانات وذوات الارجل الثلاث هي كاسمها آلة مركبة من ثلاث ارجل فاذا كانت



بأن تكون المقاومتان المتجهتان بهذه المثابة موازيتين للقوة لكن لاجل توازن ثلاث قوى يلزم أن تكون من مبدأ الأمر متقابلة في نقطة واحدة وعلى ذلك فلا بد في سائر احوال الجسم المدفوع بقوة على المستويين المماسين له في نقطة واحدة من أن يكون المستقيم الذي تؤثر فيه هذه القوة والعمودان القائمان على كل من قط التماس مارة كلها بنقطة واحدة وحينئذ يعرف الضغط الواقع على كل مستو من متوازي الاضلاع الحادث من هذا الخطوط الثلاثة بأن يؤخذ على الاول منها وتر مساو للقوة

وفي صورة ما اذا كان الجسم مماسا لثلاثة مستويات في نقطة واحدة يلزم أن تكون القوة المذكورة دائما موازنة للقوى الواقعة في النقط المتقدمة على الخطوط العمودية على هذه المستويات والدالة على المقاومات المؤثرة في المستويات وليس يلزم أن تكون سائر اتجاهات المقاومات متقابلة في نقطة واحدة

ونفرض جسم م م ب (شكل ١٠) الواقع عليه تأثير قوتين ح و خ اللتين يتقابلان في نقطة أ ويكونان متوازيتين حول نقطة الارتكاز وهي ث على مستوى س ص الثابت ونفرض ايضا بدون أن يتغير وضع نقطة الارتكاز المذكورة أن وضع ث أ مختل قليلا بأن ندير ث أ حول نقطة ث فاذا مددنا عمودي ث د و ث ه على أ ح و أ خ أمكن اعتبار د ه كرافعة منكسرة وبموجب ما تقرّر في شأن الكرافعة تكون مسافة د ه التي تقطعها نقطة ه ومسافة ه ه التي تقطعها نقطة ه عند اختلال الجسم قليلا مناسبتين لقوتين ح و خ المقابلتين لهما بمعنى انه يحدث

ح : خ :: ه ه : د د ويحدث من ذلك  $ح \times د = خ \times ه$  ويمكن في هذه الصورة استعمال قاعدة السرعة المتجهة



وحيث كانت جميع الاجسام مدفوعة دائماً بقوة التناقل لزم أن تكون الاجسام  
الموضوعة على المستويات مستوفية للشروط السابقة حتى تبقى على توازنها  
فاذا فرضنا أن اى قوة تحرك الجسم الموضوع على مستويات ولا تمسكه بحيث  
يبقى على توازنه لزم أن يكون هذا المستوى عمودا على اتجاه التناقل اعنى على  
الخط الرأسى

ويلزم حينئذ أن يكون هذا المستوى الثابت افقيا ليكون الجسم الموضوع  
عليه متوازنا من غير أن يكون هنالك قوة تحركه او تمسكه وهذا هو السبب فى كثرة  
استعمال المستويات الثابتة الافقية فى الفنون فمن ذلك تخشيبات المنازل  
الفرنجية المستعملة عندهم بدلا عن البلاط فانها تجعل افقية ليكون ما يوضع  
عليها من الامتعة متوازنا وكذلك الانسان فانه لا يتزلق ولا يسقط من  
جهة الى اخرى ويمثل هذا السبب جعلوا مستويات التخشات والرفوف  
افقية ايضا

فاذا كانت محصلة ثقل الجسم مارة دائما بمركز ثقله لزم أن تكون مستوفية لجميع  
شروط التوازن ليكون الجسم المحلى لتناقله والموضوع على مستواقى باقيا  
على توازنه

وينتج من ذلك اولا انه اذا كان الجسم الموضوع على المستوى لا يمس  
الا فى نقطة واحدة لم أن يكون الخط الرأسى الممتد من هذه النقطة مارا بمركز  
ثقل هذا الجسم

وثانيا انه اذا كان الجسم الثقيل يمس المستوى الثابت فى نقطتين يلزم أن يكون الخط  
الرأسى الممتد من مركز ثقل هذا الجسم مارا بالمستقيم الواصل بين نقطتى تماس  
الجسم مع هذا المستوى الثابت

وثالثا انه اذا كان الجسم الثقيل يمس المستوى الثابت فى اكثر من نقطتين يلزم أن  
الخط الرأسى الممتد من مركز ثقل هذا الجسم لا يمس المستوى الثابت  
فى نقطة واحدة موضوعة خارج المضلع الخالى عن الزوايا الداخلة الحادثة من  
المستقيما التى يصل كل واحد منها بين نقطتين من نقط تلاقى الجسم مع المستوى

الثابت المذكور

ولنرجع الى موضوعنا وهو ما اذا كان الجسم مستندا على نقطة واحدة ومتوازنا فنقول مما يسهل علينا مشاهدته أن كل جسم كروي مثل أ ب ث (شكل ١١) متجانس المادة تثبت له هذه الخاصية وهي أنه اذا وضع على مستواقي كان متوازنا فيه بالضرورة لان مركز ثقل هذا الجسم يتحد حينئذ بمركز شكله ويكون كل نصف قطر مثل غ ح ث عمودا على مستوى م ن الافقي الذي يمر الكرة في نقطة ث فاذا ن يكون مستقيم ع ح ث العمودي على مستوى م ن الافقي رأسيا وحينئذ تكون قوة غ ح المكافئة لتأثير ثقل هذا الجسم على م ن مستوية لساير الشروط التي لابد منها في التوازن

ولنأخذ جسما مثل أ ب ث (شكل ١٢) له صورة كالسحفة يكون حادثا من دوران قطع ناقص حول محوره الكبير فاذا وضع هذا الجسم على مستواقي بحيث يكون المحور الكبير وهو أ ب اقويا كان التوازن حاصلًا لان غ الذي هو مركز ثقل هذا الجسم المتجانس المادة فرضا يتحد بمركز شكله كما في الجسم الكروي ويكون خط ح غ ث الرأسى الممتد من المركز مارا بنقطة ث التي يكون فيها الجسم عماسا للمستوى الافقي ويحصل التوازن ايضا اذا وضع جسم أ ب ث على وجه بحيث يكون المحور الكبير وهو أ غ ب (شكل ١٣) رأسيا لان محصلة ثقل هذا الجسم اذا كانت مارة بمركز غ كانت مارة ايضا بنقطة أ

ولكن هنالك فرق ظاهر بين حالتي التوازن وهوانه اذا تغير وضع هذا الجسم قليلا (شكل ١٢) فحرك فوراحتى يصل الى الوضع الذي يحصل فيه التوازن واذا تغير وضع الجسم (شكل ١٣) قليلا تباعد عنه شيئا فشيئا حتى يسقط

وقد يكون التوازن الاول ثابتا والثاني غير ثابت ويكنى بالثابت وغير الثابت

عن القوت التي تقرب بها الاجسام او تبعد من اوضاع توازنها عند تحوّلها عن  
ثلاث الاوضاع

(ويمكن بواسطة ما اسلفناه من النتائج حل هذه المسئلة وهي أن نقرض جسمين  
بجسمي أ ب ث و ا ر ث (شكل ١٦) توازنهما غير ثابت

وموضوعين على مستوى م ن بحيث يكون خط ا غ و ا خ  
رأسيين والمطلوب تحصيل الشروط التي لا بد منها في توازن هذين الجسمين  
المخترفين عن وضع توازنهما وان كانا مستنديين على بعضهما في نقطة ك  
فلاجل مزيد السهولة نفرض أن هذين الجسمين متساويان بالكلية وأن ميلهما  
واحد وليكن ح وزن الثقلهما

فيكون كل منهما مماسا للزاوية خ على مستو رأسي ويحدث من كل منهما على الآخر  
ضغط واحد كضغط س = س ه وليكن الآن غ ه و غ ه  
هما الرأسيان النازلان من نقطتي غ و غ اللتين هما مركزا ثقل هذين  
الجسمين ولتكن ث و ث هما نقطتا تلاقيهما مع مستوى م ن  
فيكون مقدار ح بالنسبة الى الجسم ب ث د هو ح × ث ه  
وبالنسبة الى الجسم ر ث د هو ح × ث ه وهذان المقداران  
متساويان لكن حيث ان س و س ه هما كائبة عن الضغط الحاصل  
من كل من الجسمين على الآخر فاذا اتينا من نقطتي الارتكاز وهما  
ث و ث عودى ث س و ث س ه على هذين الجسمين حدث  
س × ث س = س ه × ث س ه وهو المقدار المتحصل من هذا  
الضغط

وحينئذ يلزم أن يتحصل في حالة التوازن

ح × ث ه = س × ث س = ح × ث ه = س ه × ث س ه  
فاذا كانت الاجسام ثلاثة فان حل المسئلة يكون على الوجه السابق بأن  
نجعل مقدار ح × ث ه الذي هو مقدار كل جسم منها متوازنا مع

الضغط الحاصل من كل من الثلاثة على الآخرين  
ويحل العساكر هذه المسئلة بوجه آخر على وذلك انهم يضمون ثلاث بنادق  
الى بعضها فاذا توازن كل منها على  $\theta$  التي هي زاوية الكعب لم يكن توازنه  
ثابتا بخلاف ما اذا تقاطعت السنج بحيث يحصل من طرف كل منها ضغط  
على الآخرين فان التوازن يكون ثابتا وحساب الضغط الحاصل من كل  
بنادقة على الآخرين ليكون التوازن حاصل في هذا الوضع هو على غاية من  
السهولة

ولختبر قياس القوة التي توصل الجسم المقروض الى حالة التوازن او تبعده  
عنها بان نبدأ بالوضع الاول فنقول اذا فرض أن محور  $AB$  الكبير ميل  
قليلا كما في (شكل ١٤) بحيث لا يكون عماسا للمستوى الافقي في نقطة

$\theta$  وانما يكون عماسا له في نقطة  $\delta$  فلا يكون حينئذ  $\theta$  غ  $\theta$   
اتجاه محصلة ثقل الجسم بل يكون اتجاها هو  $\theta$  غ  $\theta$

فاذا اثرت الآن قوة  $\theta = \theta$  في جسم  $AB$  وادارته حول  
نقطة الارتكاز وهي  $\delta$  بواسطة ذراع رافعة يساوي  $\delta\theta$  فان المقدار

الذي به يختص ثقل الجسم جزء  $\theta$  غ  $\theta$  ويرفع جزء  $\theta$  غ  $\theta$   
يساوي  $\theta \times \delta\theta$  لكن حيث كان  $\theta$  الذي هو ثقل الجسم باقيا على  
حالة واحدة فكلمات باعد الجسم المذكور عن الوضع الاصل الى كبر  $\delta\theta$  وكلما كبر  
مقدار  $\theta \times \delta\theta$  فان الجسم حينئذ يعود مع الشدة الى وضعه الاصل فاذا  
خلى ونفسه وصل بطبعه الى الوضع الذي يكون فيه متوازنا وهذا التوازن  
هو المعروف بالتوازن الثابت

فاذا انقما مستقيم  $\delta$  غ  $\theta$  والرأسي حتى يصل الى مستقيم  $\theta$  غ  $\theta$   
الذي هو رأسي في وضع التوازن ثم مددنا خط  $\theta$  غ  $\theta$  الافقي حدث  $\delta\theta$   
 $\theta$  غ  $\theta$  فعلى ذلك يكون  $\theta \times \theta$  غ  $\theta$  مساويا للمقدار الذي  
ياخذ به الجسم وضعه الاصل واذا فرضنا أن زاوية  $\theta$  غ  $\theta$  صغيرة

جدا امكن أن نعتبر أن  $\overline{غ غ}$  مساو للقوس المرسوم بنصف القطر وهو

$\overline{و غ}$  بين  $\overline{و غ ث}$  و  $\overline{و غ د}$  من نقطة و المعتبرة مركزا

ثان نقطة و هي التي تعرف عند المهندسين بنقطة مركز انتصاب الجسم

بجسم  $\overline{ا ب}$  فعلى ذلك اذا كان التوازن ثابتا كان مركز الانتصاب

فوق مركز الثقل دائما وفي صورة ما اذا كان لميل الخط الرأسى الحديد وهو

$\overline{و د}$  على الخط الرأسى الاصلى وهو  $\overline{و ث}$  درجة بانسة يكون قوس

$\overline{غ غ}$  مناسب للنصف القطر فاذن يكون مقدار  $\overline{ح} \times \overline{غ غ}$

مناسبا ايضا لنصف قطر  $\overline{غ و}$  ومساويا لبعدها مركز الثقل ولر مركز الانتصاب

وحينئذ يدور نحن من هذا البعد قياس ثبات الاجسام

ولنتكلم على الوضع الثانى فنقول اذا فرضنا انه بعد وضع جسم  $\overline{ا ب}$

على  $\overline{ا}$  التي هي طرف محوره الاكبر انحرف عن وضع توازنه قليلا كما في

(شكل ١٥) الذى فيه نقطة  $\overline{د}$  الحديد هي نقطة تلاقي الجسم مع

المستوى الافقى فاذا مددنا خط  $\overline{غ و}$  الرأسى فانه يقع خارج قطبى

$\overline{ا و د}$  ويحدث معنا لقياس القوة التي بها يجذب ثقل  $\overline{ح}$  الجسم

حتى يسقط هذا المقدار وهو  $\overline{ح} \times \overline{د و} = \overline{ح} \times \overline{غ غ}$

وفي هذه الصورة كالتى قبلها اذا كانت زاوية  $\overline{و غ و غ}$  صغيرة جدا السكن

أن نعتبر أن  $\overline{غ غ}$  قوس مركزه نقطة و فيكون حينئذ نصف قطر

$\overline{و غ}$  مناسب لبعده  $\overline{غ غ} = \overline{د و}$  بالنظر لميل محور  $\overline{ا ب}$

بالنسبة للخط الرأسى

ونقطة و المعروفة بمركز الانتصاب في هذه الصورة تكون تحت مركز الثقل

لا فوقه

وبالجملة فبعدها عن مركز الثقل يستعمل لقياس عدم ثبات الاجسام الثابتة

كما استعمل في الصورة السابقة (شكل ١٤) في قياس ثبات جسم

$\overline{ا ب}$  الموضوع على مستوى  $\overline{م ن}$

فاذا اتحد مركز الانتصاب وهو  $O$  بمركز الثقل وهو  $G$  لزم اتحاد خطي  
 $OG$  و  $OC$  اذ رأسيين يعضهما الا انه في هذه الصورة يكون الخط  
 الرأسى المار بمركز الثقل المذكور مارا ايضا بنقطة الارتكاز وهي  $D$  وينعدم  
 بعد  $CD$  وعليه فيكون مقدار  $CH \times CD = 0$  فاذن لا يكون  
 هنالك جهد يتحرك به الجسم فيبقى متوارنا

وبالجملة فمضى اتحاد مركز الانتصاب بمركز الثقل كان التوازن باقيا على حاله بعد  
 انحراف الجسم ويسمى التوازن في هذه الحالة بالتوازن الموافق فاذا كان  
 مركز الانتصاب فوق مركز الثقل فان الجسم اذا اختل وضع توازنه يعود الى  
 وضعه الاول فيكون التوازن حينئذ ثابتا وما اذا كان تحته فان الجسم  
 اذا اختل وضع توازنه يبعد عن هذا الوضع شيئا فشيئا ويكون التوازن حينئذ  
 غير ثابت

وفي جميع هذه الاحوال يكون قياس الثبات او غير الثبات معلوما من حاصل  
 ضرب ثقل الجسم في بعد مركز الثقل عن مركز الانتصاب المعتبر هنا مركز الانحناء  
 قوس  $AD$  المرسوم على الجسم بين  $A$  و  $D$

وبذلك تكون خواص ثبات الاجسام المتحركة على المستويات الثابتة من  
 قبيل خواص انحناء السطوح (كما تقدم في الدرس الخامس عشر  
 من الجزء الاول) واذا كان الابتداء من نقطة ثابتة كان انحناء الجسم متماثلا  
 بالنسبة لاتجاهين عمودين على بعضهما وكان ثبات الجسم على مستواين  
 متماثلا ايضا بالنسبة لاتجاهين عمودين على بعضهما وكان احدهما والاتجاهين  
 هو اتجاه الثبات الاكبر والاتجاه الثبات الاصغر وكان الثباتان  
 المتوسطان متساويين متى كانا مأخوذين بالنسبة لمحورين افقيين ويحدث  
 بينهما وبين اتجاه الثبات الاكبر زاويتان مساويتان للزاويتين الواقعتين  
 بينهما وبين اتجاه الثبات الاصغر وهلم جرا

ويؤخذ من هذه المسئلة النظرية المتعلقة بثبات الاجسام المتحركة قليلا عن  
 وضع توازنها تطبيقات مهمة تتعلق بمعيشة الاهالى وثروتهم وشرف الدولة

وقوة شوكتها من ذلك السفن التي ~~يكون~~ توازنها ثابتا على البحر فانها تسير  
امنة لاجل جلب ادوات الصناعة او الذب عن الوطن بخلاف ما اذا كان  
توازنها غير ثابت فانها ربما اقلبت وصار عاليها سافلها وغاصت في قاع البحر  
بين فيما من الملاحين والعساكر ولنظرية ثبات السفن مزيد تعلق بالقواعد  
التي ذكرناها آنفا غير أن كمالها يتوقف على قواعد اخرى مبنية على قوة السوائل  
(راجع بمبحث القوى المحركة في الجزء الثالث من هذا الكتاب)

ولما انتهينا الكلام على توازن الجسم فوق المستوى الافقي وجب أن نشرع  
في الكلام على توازنه فوق المستوى المائل المعروف في اصطلاحهم بالمستوى  
الذي ليس اقصيا ولا رأسيا فنقول

يقاس ميل هذا المستوى بالزاوية الحادثة منه مع المستوى الافقي وبموجب  
الهندسة (كافي الدرس السابع من الجزء الاول) يتوصل الى قياس تلك  
الزاوية الحادثة من المستويين المذكورين بقياس الزاوية الحادثة من خطين  
مستقيمين احدهما على المستوى الافقي والثاني على المستوى المائل وكلاهما  
ممتد من نقطة واحدة امتدادا عموديا على تقاطع المستويين

ولنجعل خط م ن الافقي كناية عن المستوى الافقي (شكل ١٧)  
ومستقيم ا ث كناية عن المستوى المائل وهذان الخطان يحدث عنهما  
زاوية مماثلة للزاوية الحادثة بين المستويين المذكورين

ولنضع جسمائيا كان بجسم س على ث ا فان لم يكن هنالك قوة اجنبية  
تمسكه امكن حل ثقله وهو غ ح الى قوتي غ غ و غ ح اللتين  
احدهما موازية للمستوى المائل والاخرى عمودية عليه وبعدم تأثير القوة  
الثانية اذا لم يقع عمود غ ح خارج المضلع الحادث من وصل نقط التماس  
بعضها بواسطة خطوط مستقيمة فيمكن حينئذ ان يطبق على تلك القوة سائر  
ما ذكر في شأن التوازن الثابت وغير الثابت والموافق المتعلق بالاجسام المستندة  
على المستويات اللاحقة

واما قوة  $\overline{غ غ}$  فحيث انها مؤثرة بالتوازي لمستوى  $\overline{ث ا}$  لا يحصل لها مقاومة مامن هذا المستوى فان لم تكن هنالك قوة اجنبية تعارضها زحلت الجسم على طول المستوى المائل

ثم ان نسبة المسافة التي يقطعها هذا الجسم على المستوى الى المسافة التي كان يقطعها في زمن واحد عند سقوطه بلا معارض على  $\overline{غ ح}$  كنسبة قوة  $\overline{غ غ}$  الجاذبة للجسم بالتوازي لمستوى  $\overline{ا ث}$  الى قوة  $\overline{ع ح}$  الجاذبة له جذبا رأسيا

واما ان تحرك الجسم بواسطة قوة  $\overline{غ غ}$  او كان ممسكا بقوة  $\overline{غ غ}$  المساوية لها والجاذبة له في جهة مقابلة لجهتها فانه متى اريد حصول التوازن يلزم ان يكون عمود  $\overline{غ ح}$  واقعا على النقطة التي يكون فيها الجسم مماسا لمستوى  $\overline{ا ث}$  المائل اذا لم يكن هنالك الانقطة تماس واحدة فاذا كان هنالك عدة نقاط لزم أن يقع ذلك العمود في المضلع الخالي عن الزوايا الداخلة الحادث من وصل كل نقطتين من النقاط التي يكون فيها الجسم مماسا للمستوى المائل وهذه القضية النظرية لها فائدة عظيمة في تطبيقها على نبات العربيات الساكنة والمتحركة

واذا كان جسم بجسم  $\overline{غ}$  (شكل ١٨) متوازنا على مستوى  $\overline{ا ث}$  المائل بواسطة قوة واحدة كقوة  $\overline{غ ح}$  الموازية لهذا المستوى لزم اقلا عند تحليل  $\overline{غ ح}$  الذي هو ثقل الجسم الى قوة  $\overline{غ ح}$  و  $\overline{غ غ}$  أن قوة  $\overline{غ ح}$  المؤثرة بالغرض في  $\overline{ا ث}$  تأثيرا عموديا يجعل ذلك الجسم المجرى عن التناقل بالغرض متوازنا على  $\overline{ا ث}$  وثانيا أن قوة  $\overline{ع ح}$  تمر بمرکز الثقل وهو  $\overline{غ}$  فيحدث اذن هذا التناسب وهو

$$\text{قوة } \overline{ح} : \text{قوة } \overline{ع} :: \overline{ع غ} : \overline{غ ح}$$

فاذا مددنا  $\overline{ن و}$  عمودا على مستوى  $\overline{م ن}$  الافقي كان مثلثا  $\overline{ا ن و}$  و  $\overline{ح غ غ}$  متشابهين ويحدث من ذلك هذا التناسب وهو



$$\overline{او} : \overline{ن و} :: \overline{غ ح} : \overline{غ خ} = \overline{غ خ}$$

اعنى أن نسبة نقل الجسم الى قوة  $\overline{غ خ}$  الموازنة له كنسبة  $\overline{او}$  الذى هو طول المستوى المائل الى  $\overline{ن و}$  الذى هو ارتفاعه

واذا كانت قوة  $\overline{غ خ}$  (شكل ١٩) اقضية لزم أن تكون  $\overline{غ ح}$  التى هى محصلة قوتى  $\overline{غ خ}$  و  $\overline{ع ح}$  مارة بنقطة  $\overline{ح}$  التى يماس الجسم فيها المستوى فيحدث من ذلك هذا التناسب وهو  $\overline{ع ح} : \overline{غ خ} = \overline{ح ح} :: \overline{م ن} : \overline{ن و}$  اعنى أن نسبة ثقل الجسم الى القوة الموازنة له تكون كنسبة قاعدة المستوى المائل الى ارتفاعه وهذه القضايا السهلة يكثر استعمالها فى علم الميكانيكا

ولنضم هذا الدرس بنبذة مختصرة ملخصة من رحلتنا الى ابريطانيا الكبرى تتعلق بالقوة التجارية والطرق السلطانية اتينا فيها بما لا بد منه فى سكك الحديد ذات الاخاديد والمستويات المائلة المستعملة فى ابريطانيا الكبرى لانه لا مانع من ان هذه السكك والمستويات المائلة تكون عظيمة الحدودى فى العامل المعدة للصناعة بمملكة فرانس فنقول

ان صناعة سكك الحديد ذات الاخاديد منحصرة فى صورتين متباينتين تباينا كلياً احدهما أن يكون النقل حاصلًا على اتجاه واحد والثانية أن يكون على اتجاهين متقابلين

واسهل ما فى الصورة الاولى أن ترفع الاحمال المعدة للنقل رفعا رأسيا بواسطة الآلات حتى تصل الى رأس السكة المائلة وهو رأس لا يتجاوزه العربات بل تأخذ فى الهبوط عند الوصول اليه

فاذا كان المطلوب هبوطها لاجل توصيل احوالها الى النهرات او الخلبان او السكك الكبيرة سواء كانت المسافة كبيرة او صغيرة فانه بواسطة السكك المطروقة ذات الاخاديد يسهل النقل مع حصول الفائدة \* والكيفية الناجمة فى ذلك أن يعطى ما يلزم من الاخشاب لتجارة وللعمارات الداخلية التى تكون

في الاماكن المرتفعة البعيدة جدا عن النهر حتى يتأتى بواسطة السكك ذات  
الاخاديد من غير احتياج الى كثرة الرياح الطيبة وصول تلك الاخشاب الى  
البلدان وعموما فيها وهذا من الاغراض المهمة جدا في القوة والتجارة  
البحريتين وفي كثير من فروع الصناعة الفرنجية

ثم ان اتفق الاخدادات واكثرها ملائمة للسكك ذات الاخاديد هو ما لا يمنع  
العربات الموسوقة من اخذ تحرك منتظم بواسطة تأثيراتها الاخرى فاذا سار  
القرس في هذا الاخداد وكان يجز قطارا من العربات لم يحتاج في ذلك الا الى  
القوة اللازمة للظفر بان يرسى المجسمات التي يتقلها بالموانع الصغيرة التي تحدث  
عما يكون في سكة الحديد من الخشونة والتضاريس الهينة الخفيفة

وينبغي أن يكون عدد العربات الموسوقة التي يجزها القرس مساويا لعدد  
العربات الكثيرة الفارغة التي يصعد بها على تلك السكة وعلى ذلك فكلما كبر  
ميل السكة قل هبوط القرس بالعربات في كل مرة من سيره ويؤخذ من ذلك  
أن هناك اخدادا اتفق مما عداها من سائر الاخدادات وهو ما استعملت فيه  
قوة القرس كلها صعودا وهبوطا بدون تلف لشيء وكما نقلت العربات الموسوقة  
لزم أن يكون الميل الذي يتبدئ فيه بالهبوط بنفسها قليلا وأن يكون عدد  
العربات الفارغة التي يصعد بها القرس الى هذا الميل كثيرا وحينئذ فاستعمال  
العربات الكبيرة في هذه الصورة أكثر فعاوتم فائدة عربات ضواحي مدينة  
نوكاستل التي كل واحدة منها تحمل ٢٥٠٠ كيلو غرام ويرزن ثقلها ١٥٠٠

كيلو غرام فهي اولى من عربات ضواحي مدينة جلاسغوف التي لا تحمل كل  
واحدة منها الا ٦٠٠ كيلو غرام ولا يرزن ثقلها الا ٣٠٠ كيلو غرام

وصندوق هذه العربات (اي عربات نوكاستل) على شكل هرم ناقص مربع  
مخوف ومكشوف من اعلاه وعرض قاعدته السفلى ٦ ر ١ وطولها ٢  
وطول قاعدته العليا من ٨ ر ٢ الى ٣ وعرض كل ضلع من اضلاعه

المائلة على الافق بقدر ٤٥° تقريباً يبلغ ٦, ١ ويوجد في عمق العربة طاقة معدة لتفريغ وسقها وهي موضوعة في طرف العربة المقابل للسفن التي يراد وسقها وعليها قدامان من الحديد لاجل سدها يدوران بواسطة لولب وينزلان على الواجهة المائلة التي تكون في مقدم العربة فيستبكان هنالك برزتين او مسمارين معوجين فاذا اردنا غلق تلك الطاقة ادخلنا شوحيحة صغيرة في حلقتي الرزتين فاذا اخر جناها وخلصنا قديمي الحديد انقيحت بسبب تأثير وسقها واهبط ذلك الوسق بين عجلاتها الاربع

وهناك طاقات في مقدم العربة ومؤخرها معدة لربط حبل الشد بها اذا اريد ذلك وقطر عجلات حديد الصب يبلغ ٦ او ٧ دسيميتر وعرضها الافقي ١٥ او ١٦ ستمترا وبها انثناء داخل دائماً في سكة الحديد وعرض السكة ١٤ او ١٥ دسيميتر

ولنذكر الان جملة من خواص السكة ذات الاخدود الشهيرة التي توصل الى شواطئ نهر الوار بقرب سوندرلند فنقول

ان معدن الفحم الذي هو مبدأ تلك السكة بعيد عن المكان الذي ينزل منه الى السفن بقدر ١٠ كيلومتر تقريباً ولا يوجد في سائر امتداد هذه الارض التي تقطعها العربة انحدارات عظيمة وانما كان هناك تلال تعارض العربات قليلاً فاحدثوا بها مسلكاً لاجل المرور وهذه السكة توصل الى ساحل منحدر يكسف نهر الوار بواسطة جسر افقي متجه الى الطبقة الاولى من مخزن متسع مبني في اعلى هذا الساحل وطول هذا المخزن تقريباً ٥٠ وعرضه من ٢٥

الى ٣٠ ويزيد ارتفاعه عن الاستواء المتوسط من مياه النهر باربعين متراً فاكثروا مركب من ثلاثة اجزاء طويلة متفرقة عن بعضها بصفين من الاعمدة وكل من سطوح الطبقة الاولى الثلاثة يتصل به سكة من الحديد وكل سطح منها ممتد من اول المخزن الى آخره وابواب المخزن على بعد واحد من بعضها مفتوحة

بين مساكن الحديد الموجودة بهذه السكة فإذا اتت العربات موسوقة بالمعدن  
 دخلت في الطبقة الاولى منه ثم تذهب الى المسطحات المستديرة المنعطفة التي  
 كل مركز من مراكزها على سكة من سكات الحديد الثلاثة فتعال ميلا خفيفا نحو  
 الربع على تلك المسطحات المستديرة ثم يجزها العربجي على السكك الطولية من  
 هذه الطبقة حتى تصبح مسامكة لاحد الابواب لاجل تفرغ الفهم المطلوب  
 في اى مكان من الارض وكل جزء من الاجزاء الثلاثة الطولية من تلك الارض  
 محتوي على سكة جديدة من الحديد مبدؤها اول المخزن ونهايتها نهر الوار ومن  
 هذه السكك الثلاثة سكان يجتمعان عند انقصالهما عن المخزن ويصيران سكة  
 واحدة وبعد ذلك يختلطان بالثالثة ويصير الجميع سكة واحدة ثم تقسم هذه  
 السكة الى فرعين يختلطان ببعضهما قبل انتهائهما وبعد أن تصل العربات  
 الموسوقة الى مبدأ الانحدار تمر على قنطرة يبلغ انقراجها مائة متروهي  
 مؤسسة على مجرى عميق ثم تجتاز حفرة يبلغ امتدادها ربعين مترا تقريبا  
 وسكة الحديد في ذلك كله مركبة من قضبان مسجرة في عدة اخشاب كالشبايك  
 طولها عشرون مترا

والقنطرة المذكورة متخذة من الخشب ومؤسسة كما تقدم على المجرى وجامعة  
 بين الصلابه والخفة وهي كآلة عن صوارم مرسوسة في الارض غرسا رأسيا ومن  
 عوارض ومساكن مائلة لتكون صلبة متينة وسطعها مركب من قطع طولية  
 مغطاة باخشاب السفن القديمة الغير المستعملة

فإذا كانت إحدى العربات ماعدة والاخرى هابطة تلاقيا في منتصف السكة  
 وهذا اذا لم يكن هنالك الاسكة واحدة واما اذا كان هنالك سكان فان احدهما  
 تسلك سكة غير التي تسلكها الاخرى حتى لا يتعارضا ثم تسلك كل واحدة منهما  
 السكة التي تركتها الاخرى

ويتخلل المسافة التي بين السكتين ملتات محورها الافقي عمود على اتجاه السكة  
 وبهذه الملتات جبل معد لحفظ العربات عند الهبوط ولشدّها عند الصعود  
 وفي اسفل الطريق تصل العربات الى سطح فوق المكان الذي تكون به السفن

المطلوب ومقها غماو بمنصف سكه الحديد ثلاث نرجات وهى اقواء اقناع  
من حديد مائله بقدر ٤٥<sup>٥</sup> تقريبا

والجزء الاسفل من القمع يتحرك حول لولب افقى يضمه الى الجزء الاعلى منه  
واما اثنا آت الجزء المتحرك فهى متعشقة باثنا آت الجزء الثابت وبذلك  
لا يسقط القمع الى جهة اليمين ولا الى جهة الشمال ولا جل غلق الجزء الثابت من  
القمع يستعمل حاجز رأسى فيرفع او يخفض اذا ارد بذلك بتأثير الرافعة وذلك  
انه يوجد فى كل من طرفى القمع عيارات تؤثر من اعلى دريزين من الخشب  
قريب من سمت الحاجز واما الحبل المعد لحفظ كل عيار فهو ملتف على اسطوانة  
مخزون موضوع على الدرزين به يرتفع الجزء المتحرك من القمع او يخفض  
وبهذه الكيفية يوضع دائما الطرف الاسفل من الجزء المتحرك على بعد ملائم  
للدرجة التى توسق منها السفن سواء ارتفعت السفينة بالمدا وانخفضت بالجزر

\*( بيان المستويات المائله ) \*

تطلق هذه المستويات على اجزاء السكة ذات الانحدار العظيم المحتاج الى اعانة  
الآلات لاجل صعود العربات او هبوطها وصناعة هذه المستويات مشابهة  
لصناعة الاجزاء الاخرى من سكك الحديد ذات الاحاديد

ولندكرلك هنا طريقة ميكانيكية يعرف بها صعود العربات على المستويات  
المائله الموجودة بضواحي مدينة نو كاستل ببلاد انكلترة فنقول

يوجد فى اعلى المستوى المائل مكان صغير مركب من حائطين احدهما عن يمين  
السكة والاخرى عن شمالها وعليهما سقف وفى داخلهما تحت هذا السقف طارة  
كبيرة من الخشب افقية موضوعة على شواح متعزضة وبها حلق ملتف عليه  
حبل ليس مغرطافى الطول بل بقدر المسافة التى تقطعها العربىة الموسوقة عند  
هبوطها ويوجد تحت هذا الحبل على محيط الطارة الحاجز المعروف بالزامام وهو  
اقرب شها بزامام طواحين القطن الذى يمكن للانسان وحده أن يحركه بواسطة  
رافعة وهذا الحاجز مربوط على ارتفاع لا تقبل سلاسل رأسية معلقة بشواحي  
المكان المذكور ومضى وصلت العربىة الموسوقة الى مبدأ الانحدار وجد العربىة

هناك عربة أخرى فارغة قريبة منه جداً فيلك حيثئذ طرف جبل الشد الذي كان اعده لصعود هذه العربة الفارغة ثم يفوت الجمالة التي بهذا الطرف من يد الحديد الثابتة خلف العربة الموسوقة المطلوب هبوطها

وقبل تتيه هذه الاعمال تأتي عربة فارغة من المحل الذي هو مبدأ السير الى اسفل الانحدار فيجد العربي هناك عربة موسوقة فيفكها ويربط بها فرسه ثم يربط جبل الشد في العربة الفارغة ويسير

فاذا انقضى هذا العمل دفع العربي بيده عربة الموسوقة فتأخذ في الهبوط على الانحدار فعند ذلك يصعد فوراً مع النشاط على إحدى جهات هذه العربة قابضاً على الرافعة المجهزة زماماً لأحدى العجلات ويوجد في اصغر اطراف هذه الرافعة قوس دائرة من الخشب نصف قطره كنصف قطر العجلة التي يحتك عليها هذا القوس عند ارادة بطل سير العربة ومنع سرعتها فاذا وصل العربي الى اسفل الانحدار نادى بأعلى صوته الوقوف الوقوف فعند ذلك يترك المتوط بالزمام الاكبر هذا الزمام تحت المكان المتقدم ذكره ويجري ذلك في كل عريتين احدهما فارغة والاخرى موسوقة

وعلى ما ذكرناه من القواعد يلزم أن القوس المعدلجز العربات على سكة الحديد يبدل جميع قوته عند صعود عدة عربات فان كانت صورة الارض تقتضي تغير الانحدارات وتتوَعها لزم أن تعمل على وجه بحيث يكون ملائماً لهذه العدة وعلى ذلك فلا بد أن تكون سكك الحديد ذات الاحاديد مركبة من خطوط مستقيمة يتألف منها مضع مستوا ومن خطوط منحنية متحدة الانحدار في جميع طولها وحينئذ يمكن بواسطة التجاريب العجيبة أن تعين درجات الميل المتنوعة التي يلزم أن يكون السير بحسبها

ولاجل عدم ضياع الزمن بلا فائدة في ربط الخليل وحلها يلزم أن يكون لكل فرع ثابت الانحدار من سكة الحديد طول يكفي في تغيير الخليل ولا بد أن يكون عدد الخليل المعدة للنقل على نسبة منعكسة من عدد العربات الفارغة التي تصعد هي بها ومن الزمن التي تستغرقه مدة التغير المذكور في حالتي الذهاب والاياب فهذه

الكيفية تقطع العربات المتعددة جميع فروع السكة في وقت واحد ولا تحتاج  
الخليل ولا العرجية الى التأتأ للسابق او اللاحق  
ويلزم مزيد الاهتمام وفرط الاعتناء في عمل سكة الحديد بحيث لا يحصل عند  
الصعود عليها هبوط الا اذا كان المحل يقتضى ذلك وطريق اجتناب هذا  
الهبوط الحاصل عند الصعود أن تقيم في الوديان الضيقة العميقة تخشيبات  
صلبة خفيفة على شكل القناطر الحقيقية وبصنع على سطحها الافقي سكة الحديد  
ذات الاخاديد

ويسهل عمل تلك السكك على قناطر معلقة بلسل من حديد  
(وقد ذكر المهندس استوانسون ان المجارى الضيقة العميقة المتقاطعة فيما صنعها  
من سكك الحديد يمكن اجتيازها بواسطة مربع من الخشب توضع عليه العربات  
فيسير بها الى جهة الامام بواسطة البكرات على طول المستوى المائل المركب  
من سلاسل او قضبان من الحديد ممتدة من احد شاطئى المجرى الى الآخر)  
واذا كانت الارض مرتفعة قليلا فانه يمكن عند اقتضاء الحال عمل سكك اقصية  
او احداث اما كن لتغيير الخليل يكون انحدارها ثابتا وذلك اما بواسطة الحفر  
والردم بطريق مضبوطة لاجل اختصار طول الطريق واما بواسطة عمل  
انعطافات وتعاريج كثيرة يتحقق فيها شرط التصرف الاصغر في عمل السكة  
لانهلم فائدة النقل قبل حصوله ويجرى في هذه الصورة القواعد المقررة في غيرها  
من سائر انواع السكك

وهناك صورة تخص سكك الحديد ذات الاخاديد المعدة للنقل في اتجاه واحد دائما  
وهي انه بواسطة المستوى المائل يمكن رفع الاحمال فوراً الى الارتفاع المطلوب  
الذى يعقبه هبوطها الى المحل المراد وصولها اليه على اقصر انحدار  
فاذا كانت كمية النقل الكلية واحدة في الذهاب والاياب لزم عمل الانحدارات  
على وجه بحيث تكون مساعدة للجهتين ويشترط في ذلك شرط لا بد من تحقيقه  
هنا وهو أن تخفض النقط العليا ونلطف المستويات المائلة من غير أن يكون  
ذلك سببا في طول سكة الحديد طولاً ومفرطاً ولا في كثرة المصاريف وقد جرت

العادة بعمل سكتين متجاورتين من ذوات الاخاديد احدهما للذهاب والاخرى للادباب

ولنشرع الآن في الكلام على صناعة سلك الحديد ذات الاخاديد فنقول انها تنقسم باعتبار اخاديدها الى قسمين احدهما الترام وى او البلات وى وهو ما تكون فيه الاخاديد مسطحة ومركبة من قضبان من حديد الصلب اى الزهر وفوقها ثناء بارز على طرأها من خارج وتحتها حرف بارز يكسب القضيب قوة كافية لخل ثقل على العربات من غير أن يعرض له كسر وذلك أن هذه العجلات الاسطوانية تقف على الاخدود والقسم الثانى الادح وى وهو ما تكون فيه الاخاديد محزوفة ومركبة من قضبان متلاصقة غليظة ومستديرة من اعلاها لانه يوجد في عجلات العربات حلق كحلق البكر يشبك به القضيب من طرفه المستدير فاما الاخاديد المسطحة فينشأ عنها مضرة عظيمة وهى ازدياد الاحتكاك وزيادة منرطة عند ملاقة الارض لان ما يتعلق بالعجلة من التراب والرمل والحصى يتساقط ويقف في الاخدود المسطح واما الاخاديد المحزوفة فلا يوجد فيها هذه المضرة فهى لعدم المانع قابلية لخل الانقال الكبير وقديمة على غيرها في الاشغال الجسيمة وعلاها جرى العمل في بلاد غانة واما في ضواحي مدينة نو كاستل فيستعمل فيها المسطحة كالمحزوفة وقضبان الاخاديد المحزوفة تتخذ من الحديد المطروق وعرض كل قضيب ٤ ستمتر وسنكة الرأسى الذى هو اكبر من العرض دائما يكون مناسباً لوضع عليه من الاحمال وليست فائدة الاخاديد المحزوفة هو مجرد تقليل الاحتكاك بل يضاف الى ذلك ايضا مقاومتها للاحمال العظيمة وليس ذلك موجودا في المسطحة نظراً لصورتها والكون موادها قرب للثلاث من الاولى

وقد ذكر المهندسون استوانسون ان السكة ذات الاخاديد المحزوفة التى تحمل عربة يرميلين تكون زنة حديد هاستين كيلوغراماً عن سكل مترين الاخدود المزروج بعد انتقضاء عمله ويكفى ايضا ما دون ذلك غير أن السكة السلطانية يلزم أن تكون عملاقة خاديدها بقدر الحاجة حتى لا تحتاج الى ترسيم



يؤدى الى زيادة ابرة العجلة عن مقدارها الاقل

ويكفى على ما ذكره المهندس علواس أن يكون طول كل قضيب من قضبان  
الاخاديد المسطحة ٢٠ ر<sup>م</sup> وأن تكون زنة كل قضيبين مع مسنديهما من  
٤٠ كيلو غراما الى ٥٠ ويكفى ايضا فى السكك ذات الاخاديد المحوفة  
المعدة لسيار العربات الكبيرة أن تكون زنة كل قضيبين مع مسنديهما من ٤٠  
كيلو غراما الى ٥٠ واما فى المسطحة المعدة للنقل فى عربات صغيرة تجرها  
الخيل فيكفى أن تكون زنتهما مع المسدين ٢٥ كيلو غراما ويكفى ١٨  
فيما اذا كانت تلك العربات يجريها العرجية

(وما ذكره هذا المهندس فى تحديد طول القضبان يختلف باختلاف الاماكن  
وانواع النقل وقد ذكر ايضا فى رسالته المشحونة بالفوائد التى فيها فى سكك  
الحديد ما يفيد أن طول كل قضيب من قضبان سكك الحديد المحوفة ٨٩  
ستمترا وعرضه ٣٣ ملترا وأن تلك القضبان تمر بعوارض من الخشب  
او حديد الزهر ثابتة او محمولة على بسطات من البناء وأن طول كل قضيب من  
قضبان السكك المسطحة ٢ ر<sup>م</sup> وعرضه ٨ ر<sup>م</sup> فى الجزء الذى يجرى  
عليه العجلة وسمك هذا الجزء يساوى ١٥ ر<sup>م</sup> وارتفاع الاثنا عشر ٥٤ ر<sup>م</sup>  
وسمكه المتوسط ١٠ ر<sup>م</sup>)

ثم ان احكام وضع هذه الاخاديد ومئاتها مما لا بد منه فى السكك ذات الاخاديد  
اذ بدون احكام وضعها ودرء محالها ينشأ عن الجهد الواقع عليها من محلات  
العربات الموسوقة أن بعض المساند يغوص فيها بمقدار ٢ ستتر فقط فيكون  
المقدار احد قضبان الاخدود فى هذه الحالة بمقدار واحد من ستين فيلزم حينئذ  
لاجل جر العربات حيب تكون السكة اقلية تضعيف القوة المستعملة

وقد كانت سكك الحديد ذات الاخاديد سابقا خالية عن الثمرة الحقيقية مع انها  
كانت قابلة لأن يحصل عنها كثير من الفوائد وذلك لان هذا النوع من السكك

كان متجاوزا الحد في الصعوبة (فان طبيعة الارض ورخاوتها بماله تأثير عظيم في صلابة هذه السكة) فقد صرفت مبالغ جسيمة في عمل مساند من الحجارة اللينة مع انها اذا وضعت على سطح الارض تكون عرضة لتنوع الحرارة والرطوبة

فلاجل جبر هذا الخطل اقتضى الحال أن تسند الاخاديد بالواح غليظة من الحديد الصب اى الزهر وتحمى اطراف اجزاء هذه الاخاديد على اطراف تلك الالواح والظاهر أن منافع استعمال الحديد الزهر دون منافع استعمال الحديد المطرق فان الاخاديد المتخذة من الحديد المطرق ليست كالاخاديد المتخذة من الحديد الزهر في كونها عرضة للكسر عند دبوب العرب وملاقاتها لحصاة او حجر صغير يكون على الاخدود وقد شوهد منذ أكثر من ثمان سنوات سكة من الحديد المطرق معدة لاشغال تد الفيل بإقليم كبرلند وشوهد بها ايضا سكان من الحديد الزهر فكانت الاولى حسنة الاستعمال من جميع الوجوه وكانت في المصاريف دون السكتين الاخرين وقد جربوا مثل ذلك في ايقوسيا غير مرة فكانت النتيجة واحدة

وهانحن نبين عرض السكة المزدوجة ذات الاخاديد على مقتضى ما حسب المهندس استوانسون في بعض مؤلفاته فنقول

الفرجة التي بين الاخدودين من ٣ الى ٦

المسافة التي بين السكتين . . . . . ٢

جوانب المسالك الضيقة والمجاري والدروات وغير ذلك من ١٥ الى ٣

فيكون مجموع ذلك . . . . . ١

ويمكن بواسطة وضع الاساس من الحجارة الصغيرة وسترها بالحصى عمل فرجة بين كل اخدودين واما السكة الضيقة المعتدة لعر بجية فانه يمكن تثبيتها بالحصى او رغو المعادن او بالنعم المعرى او نحو ذلك على حسب طبيعة الاماكن

وهنا النوع ثالث من سكة الحديد وهو ما تكون فيه الاخاديد مسطحة بدون انثناء ولا بروز في بعض اجزائها وملصوقة بمنتصف السكة الاعتيادية او المبلطة فوق سطح تلك السكة ومثل هذا النوع لا يلائم الاحمال المستديرة من الحارات والازقة وغيرها من طرق المدينة السلطانية التي تتلاقى فيها العربات على اختلاف انواعها وعظمها في اتجاهات مختلفة وقد استعملت هذه السكك ذات الاخاديد بمدينة غلاسغوف في المستوى الاعظم ميلا الذي يوصل الى حوض خليج فورت اكليد على ميناء دونداس وهذا المستوى يمكن أن تصعد عليه الفرس الجيدة بضو ثلاثة براميل وأن تجتز عليه في مدة النهار نحو برميل ونصف

وقد اشتهر استعمال ما ذكرناه من الاخاديد المسطحة في السكك الكبيرة لاسيما في المستويات العظيمة الميل ولا بد في استعمالها من تغيير الخيل عند الوصول الى تلك المستويات او تفريغ شئ من العربات لاجل عبور الجسور حتى يسهل النقل عليها كالسكة الاقفية الاعتيادية

وترى في شكل ٢٠ الرموز اليه بهذه الاحرف وهي (ا) (ب) (ث) اجزا موضوعة بهذا التناات اخذود الحديد وتجد في شكل ٢١ سكة مزدوجة ذات اخاديد مع عجلات العربات ومحاورها وفي شكل ٢٢ سكة مزدوجة ذات اخاديد تقطعها سكة اخرى

### \*(الدرس الثاني عشر)\*

في بيان البريمة والاتواء والحبال والخابور وسائر الآلات التي من هذا القبيل

ينبغي لمن اراد أن يعرف هذا الدرس حق المعرفة أن يراجع الدرس الثاني عشر من الهندسة في الجزء الاول من هذا الكتاب لتعلقه بالخطوط والسطوح الخلزونية

ولابد أن نورد هنا على وجه الاجمال ما للخطوط والسطوح من الخواص الهندسية تذكرها المسبق فنقول ان الخط البريمي او الخلزون الاسطوانى

هو كناية عن خط منحن مرسوم على محيط اسطوانة بحيث يحدث عنه في جميع امتداده مع اضلاع الاسطوانة زاوية واحدة فاذا كانت الاسطوانة موضوعة على وجه بحيث تكون اضلاعها رأسية حدث عن الخط البرمبي في جميع امتداده مع احد اضلاع الاسطوانة الرأسية زاوية واحدة ثابتة الميل

فاذا فرضنا أن هنالك خطا مستقيما له ميل ثابت وتحرل على طول الخط البرمبي ويحدث عنه مع هذا الخط المنحني زاوية واحدة دائما فانه يحدث عنه سطح حلزوني ويكون المستوى المماس لهذا السطح الحلزوني ما تلا بالنسبة للرأسي في سائر نقط الخط البرمبي

واذا اريد هبوط جسم او صعوده على طول الخط البرمبي فانه يارتكاز هذا الجسم على السطح الحلزوني يتحرك كتحرك في طول المستوى المائل على خط مستقيم ميله كميل الخط البرمبي وهذا المستوى في الميل كغيره من المستويات المماس للسطح الحلزوني

وليكن أم وـ (شكل ١) كناية عن انفراد الاسطوانة التي تصنع عليها بريمة مثلثية (شكل ٢) او مربعة (شكل ٣) فينفرد كل دور من الخيوط (شكل ١) على خط مستقيم طوله وهو  $\overline{ر ب} = \overline{ث ش} = \overline{و د} =$  الخ ثابت

فاذا كان جسم من الاجسام الثقيلة عرضة للصعود والهبوط على احد هذه الخطوط كخط مـ مثلا وكان ذلك الجسم متوازنا بواسطة قوة افقية كقوة ح حدث هذا تناسب وهو نسبة قوة ح الى نقل الجسم كنسبة م و الذي هو ارتفاع خطوة البريمة الى نسبة م الذي يساوي محيط الاسطوانة المرسوم عليها خيط البريمة

وحيث تقررت هذه المبادئ وجب أن نشرع في الكلام على كيفية استعمال البريمة فنقول ان البريمة توضع في بيتها البرمبي الذي يوجد في داخله ما يو جد فيها من الاسطوانة والخيوط فتارة يثبت في البيت المذكور طارة ذات عماسن

لتدويره كما تدوير طارة المنجنون وتارة نبت فيه رافعة او اكثر يكون لها شبه  
بقضبان المنجنون والمعطاف

وكانوا سابقا يكتفون بجعل رأس بيت البريمة مربعا ويعشقونه ببعضه بواسطة  
مفتاح تجويقه مربع كجويف البيت لاجل ادارته الى احدى الجهتين  
(اي جهتي اليمين والشمال)

وهناك بريعات وبيوت بريعات تدور الى جهة اليمين (شكل ٢ و ٣)  
(كما سبق في الدرس الثاني عشر من الهندسة) وهي اكثر استعمالا من غيرها  
ويوجد ايضا بريعات وبيوت بريعات تدور الى جهة الشمال فلا يمكن تعشيق  
بريمة دائرة الى جهة بيت بريمة دائرية اخرى تقابلها

وتم نوعان من البريمات وبيوتها احدهما بيت البريمة الثابت الوضع وهو  
ما تقدم فيه البريمة تارة وتأتاخر اخرى بدوراتها في ذلك البيت الذي لا يتقدم  
ولا يتأخر لثباته وتكون القوة حيث تدور ثابتة في احد طرفي البريمة وهذا الطرف  
الذي جرت العادة يجعله مربعا يسمى رأس البريمة

وثانيهما البريمة الثابتة الوضع وهو ما تكون فيه البريمة مجبورة على الدوران  
بدون تقدم ولا تأخر وانما يتحرك هو الذي يتحرك بطولها  
وفي هذين النوعين تكون القوة والمقاومة الموازنة لها على نسبة منعكسة من  
المسافتين اللتين تقطعهما هاتان القوتان في زمن واحد كما في توازن المستوى  
المائل الذي ينسب اليه توازن البريمة

ولكن اذا ادارت القوة دورا كاملا حول المحور فانها تقطع محيطا نصف قطره هو  
بعد المحور عن هذه القوة وحيث ان المقاومة مؤثرة بالتوازي للمحور فانها  
تقطع في زمن واحد خطوة بريمة فاذا تكون القوة مضروبة في المحيط الذي  
تقطعه حول محور البريمة مساوية للمقاومة مضروبة في خطوة البريمة  
وعلى ذلك كلما كانت خطوة البريمة صغيرة وكان ذراع الرافعة الذي تؤثر القوة  
في نهايته طويلا يمكن حصول التوازن بين قوة مفروضة ومقاومة كبيرة  
فاذا لم تكن البريمات وبيوتها محكمة الصناعة لم أن يكون في بعض احداثها

فراغ من البريمة ويثبتها وأن تطوى أو تفرد الخيوط المجنوعة في البعض الآخر لاجل حصول التحرك فيلزم أن تكون الآلات المستعملة لصناعة البريمات من حيث صورها وتحرّكها على غاية من الضبط والاحكام  
وإذا وقع على البريمة جهد قوة لاجل إبطال مقاومة حدث من هذا التأثير عليها وعلى يثها نوعان

فالنوع الأول منهما يثلف خيوط البريمة بواسطة قوة الضغط الحاصل بالتوازي للمحور وهي قوة مساوية للمقاومة الحادثة من البريمة سواء كان ذلك في حالة الدفع أو في حالة الجذب وهذه القوة تحل الى عدة اجزاء يمكن اعتبارها كنقط تماس بين البريمة ويثها وجزء المقاومة المنقول الى كل من هذه النقط يكون على نسبة منعكسة من سطح الخيوط المعلوم مقداره في صورة ما إذا كان عوديا على المحور وهذا السطح مناسب لبروز الخيوط في سائر طولها إلا أن هذا البروز لا يمكن زيادته بدون أن تكون الخيوط عرضة للكسر بادنى اصطدام فان كان جانب هذه الخيوط مثلثا فاللافتى عادة أن يكون من المثلثات المتساوية الاضلاع وان كان مستطيلا لزم أن يكون عرض كل خيط بقدر يمكنه بمعنى انه يكون مربعا ثم ان نوعي البريمات السابقين يتمازان عن بعضهما بكون خيوط البريمة في النوع الأول مثلثة (شكل ٢) وفي الثاني مربعة (شكل ٣)

وتصنع البريمات من الخشب اذا كان كل من المجهودات الواقعة عليها والمقاومات التي تظفر بها تلك المجهودات متوسطا بين الشدة والضعف غير أنه ينبغي لذلك انتخاب نوع من الخشب كالبنس والزان وخشب الكمثرى مما تكون اجزائه متعددة اتحدا كافيا في سائر طولها ومثل هذه البريمات يسهل اشلام اطرافها وذلك ضرر عظيم لا يقع في البريمات المصنوعة من المعادن والبريمات المعدنية منفعة عظيمة وهي قابليتها لأن تحمل اى مقاومة كانت مع صغر حجمها

هذا ويشق علينا أن نورد في استعمال الآلات جميع عمليات البريمة على وجه التفصيل وانما نقول ان الغرض الاصلى منها احداث الضغط الشديد

كأى البريمة التى يستعملها يجلد الكتب لضغط أوراقها وكذلك البريمات الرافعة فإن الغرض الاصلى منها ايضا هو احداث الضغط المذكور ويوت هذه البريمات ثابتة وامتدة على شكل الهرم الناقص المربع الذى تكون قاعدته على الارض واما البريمات فهى متحركة بذراع او ذراعين من الرافعة (راجع شكل ٤)

واذا كان المطلوب ضم جسمين صليين الى بعضهما والصاة هما الصاقتان اما لزم تثبيتهما بسمار او نحوه (شكل ٥) مما يكون له رأس بارز لاجل الامساك وبعض ادوار من خيوط البريمة وهو المعمار المعروف بالقلوروز فاذا ادخلنا المسامير فى الثقب فخذ من الجسمين المطلوب ضمهما وصار بمنزلة البريمة التى فى داخل بيتها ثم يغلَق هذا البيت بمنزلة مربع شبيه بالمفتاح الذى تقدم ذكره فى هذا الدرس ويمكن بهذه الكيفية ضم عدة عظيمة من قطع الاخشاب المهمة سواء كانت من اخشاب الاشغال البرية او البحرية وشم بريمات خيوطها مرنة منفصلة عن بعضها كبعض يابات العربات المعروفة بيابات القبض (انظر الدرس الرابع والخامس عشر)

ولا مانع من أن نعتبر البريمة كاسطوانة مخرسة معدة لا يصلح الحركة الى الطارات المخرسة وهو ما يعرف بالبريمة غير المتناهية ونستعمل هذه البريمة فى كثير من الآلات كالالة المعدة لتحريك السفود وربما التثبت بالمنحون والمعطاف وما شاكلهما

ويمكن ضم البريمة الى الطارة المخرسة ولصقتها بها بواسطة التعسيق كما فى شكل ٦ وهذه الواسطة تنقل الحركة من محور س الموازى لمستوى المسقط الى محور آخر عمودى على هذا المستوى تدل عليه نقطة و

ولتكن ف هى القوة الواقعة على ما نؤيلة ش ع فى طرف ذراع رافعة ش ع و و هى القوة المنقولة بالبريمة غير المتناهية من م الى الطارة المخرسة التى نصف قطرها يساوى م و و ر هى المقاومة المؤثرة فى طرف ذراع رافعة و ويحدث

أولا ف  $\frac{\text{محيط مقطوعا بالمناوية}}{\text{خطوة البريمة}} \times \text{ف وثانيا ر} = \frac{\text{م}}{\text{و}} \times \text{ف}$

فاذن يكون  $\text{ر} = \frac{\text{م}}{\text{و}} \times \frac{\text{محيط مقطوعا بالمناوية}}{\text{خطوة البريمة}} \times \text{ف}$

ومن هذا التساوى تؤخذ النسبة بين القوة والمقاومة

والنوع الثاني من نوعي التأثير الواقع على البريمة وبينها من القوة والمقاومة هو ما يحدث عنه التواء البريمة وبينها ولاجل الوقوف على حقيقته نفرض عدة منشورات متساوية كالالياف النباتية التي يتركب من مجموعها شجرة اسطوانية ونفرض أن المطلوب التواء هذه الاسطوانة فنوقع على نهايتها قوتى **ف** و **ر** (شكل ٧) العموديتين على اتجاه الالياف والدائرتين في جهتين متقابلتين فاذا لم تكن الاسطوانة صلبة جدا ~~وكان~~ لا يوجد في الالياف صلابة تامة فانه يقع عليها تأثيرا هاتين القوتين فتدور احدى قاعدتيها من الميكن الى الشمال والاخرى بالعكس ونفرض ايضا أن مقاومة الاسطوانة المذكورة واحدة في جميع طولها وزيادة على ذلك نفرض عدة قطاعات متنوعة حاصلة من مستويات موازية للقاعدتين وأنها على بعد واحد من بعضها فيكون دوران القطاع الاول بالنسبة للثاني في زاوية يكون فيها دوران الثاني بالنسبة للثالث والثالث بالنسبة للرابع وهكذا وعلى ذلك فالقط التي يتكون منها في مبدأ الامر ليف قائم على كل قاعدة يتكون منها ايضا خط حلزوني بواسطة ما يكون للقوتين المؤثرتين في جهتين متقابلتين من التأثير الواقع على ققط مختلفة من طول الشجرة الاسطوانية ويعرف هذا التعاكس بالتواء

فاذا لم ~~تكن~~ الالياف متلاصقة بل ترحلت عن بعضها او كان لا يمكنها الا الاحتكاك كان التواء الاسطوانة المتكونة من مجموع الالياف كالالتواء الذي يحدث في صناعة الحبال

فان قيل ما مقدار المقاومة التي تعرض للالتواء من الاسطوانات المختلفة القطر المتجانسة المماثلة فالجواب اننا نفرض حل هذه المسئلة اسطوانتين



رفيعتين جدًا متساويتين في الرفع والاولى أن يقال متحدتين في السلك الصغير  
جدًا ومختلفتين في القطر مع اتحادهما في الطول ونوقع عليهما في مستوى  
قواعدهما قوى مماسة لهما تديرهما الى جهات متضادة فيحصل بذلك  
التواءهما ويلزم اتحاد القوة في زاوية واحدة من الزوايا الحادثة من التواء  
الالياف المتجهة على اضلاع الاسطوانتين ليحصل الالتواء في الالياف التي  
حجمها واحد ويكون عدد تلك الالياف مناسبًا لمحيط القواعد فيلزم إذن  
استعمال القوى المناسبة لمحيط القواعد وانصاف اقطار الاسطوانتين  
ليحصل التواء هاتين الاسطوانتين المجوختين الرفيعتين جدًا بحيث لا يحدث عن  
اليافهما واتجاهاتهما الاصلية الا زاوية واحدة

فاذا فرضنا عمودا اسطوانيا غير مجوختين وتوهمنا انه مقسوم الى اسطوانات  
مجوخفة متعددة السلك والمركز فرضنا أن التواءها واحد بحيث تكون كل نقطة من  
نقطتها الموجودة في القطاع العمودي على المحور باقية على وضعها الاصلى  
سهل عليك بعد حصول الالتواء أن تعرف أن الزاوية الحادثة من الالياف  
مع اتجاهاتها الاصلية مناسبة لبعدها عن الالياف عن المحور وبهذا الالتواء  
يحدث عن كل ليف لاجل حل التواءه جهد مناسب لنصف قطر الاسطوانة  
المحتوية على هذا الليف وهذا الجهد ناشئ عنه بالنسبة للمحور بواسطة ذراع  
رافعة مساو لنصف القطر المذكور فبناء على ذلك تكون القوة التي يلزم  
استعمالها في التواء كل ليف مناسبة لمربع بعدها عن المحور وينتج من  
ذلك أن القوة الكلية التي يلزم أن يكون للاسطوانات بهادرجة من الالتواء  
مأخوذة وحدة تكون مناسبة لمجموع مقادير اينرسي قواعدهما بالنسبة  
للمحور بمعنى انها تكون مناسبة لمسطح قاعدة الاسطوانة مضروبا في مربع  
نصف القطر فاذا كانت انصاف الاقطار هي

١ ٢ ٣ ٤ ٥ ٦ ٧ ٨ ٩ ١٠ الخ  
كانت اعداد

١ ١٦ ٨١ ٢٥٦ ٦٢٥ ١٢٩٦ ٢٤٠١ ٤٠٩٦ ٦٥٦٣ ١٠٠٠٠ الخ

دالة على نسبة القوى التي بها يمكن بحصول درجة واحدة من الالتواء

لاسطوانات

لاسطوانات متنوعة لها طول معلوم بين القوي التي تؤثر فيها لاجل التوائها  
 وإذا فرضنا اسطوانتين مختلفتين في نصف قطريهما الرموز اليهما برمزي  
 ر و ر (شكل ٨ و ٩) وواقعا على احدهما قوتا ف و ف  
 المتساويتان وعلى الاخرى قوتا ف و ف المتساويتان ايضا لاجل  
 حصول الالتواء فيهما بحيث ان بعدى هاتين القوتين وهما م غ و م خ  
 متساويتان حين يكون

$$\text{ف} : \text{ف} :: \text{مسطح م غ ضه} \times \text{ر} : \text{مسطح م ن ض} \times \text{ر}$$

تكون زاويتا الالتواء وهما م و م و م و م متساويتين لان و و  
 هما مركزا القاعدتين فاذن يحدث هذا التناسب وهو

$$\text{م} : \text{م} :: \text{م} : \text{ر}$$

فاذا جعلنا م = م ولو بنا الاسطوانة الغليظة حتى نوصل ليف  
 خ م الى خ ن حدث من هذا الليق مع اتجاهه الاصلى وهو م خ  
 الزاوية التي تحدث من ليف غ م مع اتجاهه الاصلى وهو م غ ولكن  
 ف هي القوة التي لا بد منها في التواء الاسطوانة الكبيرة على اتجاه خ ن  
 فيتحصل هذا التناسب وهو

$$\text{ف} : \text{ف} :: \text{م} : \text{م} :: \text{م} : \text{ر} :: \text{ر} : \text{و}$$

و يؤخذ من ذلك ان

$$\text{ف} = \text{ف} \times \text{ر}$$

ولكن ف = ف  $\times$  مسطح م ن ض  $\times$  مسطح م غ ضه  $\times$  ر

فاذن يكون ف = ف  $\times$  مسطح م ن ض  $\times$  مسطح م غ ضه  $\times$  ر

فاذا كان ميل غ م ي كفى في التحلل او انقصال الياف الاسطوانة  
 الصغيرة من بعضها تحصل على الاسطوانة تأثير واحد من ميل خ ن الحادث

من قوة ف فاذن تكون قوتا ف و ف الحادث عنهما انفصال  
الاسطوانتين المختلفي القطر من بعضهما مناسبتين لمسطح القاعدتين مضروبا  
في نصف قطرهما وهذا الحاصل في غاية الاختصار  
ومتي عرفت المقاومة التي تقبلها الشجرة الاسطوانية في بعد معين سهل عليك  
دائما بواسطة النسب المتقدمة حساب المقاومة التي يقبلها ما مائلها من  
الاسطوانات الاخرى في ابعاد اخرى ولا يخفى ماثل هذا الحاصل من الاهمية  
في تعيين ما يلزم من الابعاد لاعمدة الآلات كاعمدة المخبون والمعطاف والسهم  
الذي يستعمل في نقل قوة الآلات الادروليكية والبخارية وغيرها وايس لقوة  
التواء الاخشاب حالة واحدة بل تتغير على حسب حالة الجوف وطبيعة كل نوع  
من الاعمدة الاسطوانية ففي زمن الرطوبة تقاوم الاخشاب الالتواء مقاومة  
عظيمة بخلاف وقت القيق واليبوسة فان القوى بتأثيرها تجبرها على الالتواء  
ومثل هذا الامر المخالف لما يتصوره الانسان قد ثبت بتجاريب عديدة علمت  
في شأن التواء الاخشاب تركاها هنا خوف الاطالة

\*(بيان التواء الحبال)\*

لابأس أن نورد في هذا المقام ما يشهد لذلك من العمليات المهمة الحادثة  
من خواص الحلزونات فنقول  
قد سبق لك في الدرس الثاني عشر من الجزء الاول أن كلا من الخيوط التي  
يتركب منها الحبل يكون بواسطة الالتواء منثنيا انثناء حلزونيا وأن محور  
هذه الحلزونات هو عين محور الحبل اعني الخط الذي يكون في جميع طوله  
على بعد واحد من محيط الحبل المفروض مستقيما وجميع الخيوط التي على بعد  
واحد من هذا المحور لها طول واحد من القطعين العموديين على المحور  
بخلاف الخيوط المختلفة البعد من المحور فليس لها طول واحد بل يزداد بازدياد  
البعد عن ذلك المحور ولاجل الوقوف على حقيقة ذلك نفرض أن أ ب ش د  
و أ ب ش د و أ ب ش د الخ (شكل ١٠) مستطيلات  
تكون فيها اطوال أ د و أ د و أ د بالنسبة الى ارتفاع أ ب

المساوى لارتفاع الخطوة المشتركة بين الخيوط الحزونية كناية عن طول محيطات  
الطبقات المختلفة من الخيوط التي هي اجزاء الحبل فاذا مددنا من نقطة ب  
خطوط ب د و ب د و ب د الخ المائلة كانت هذه الخطوط  
كناية عن طول اجزاء الخيط الحادث منه دور ك كامل حازونى على المحيطات  
الموجودة في الالتصاقات وهي د و د و د الخ وهذه الخطوط  
المائلة كلها غير متساوية وتزيد في الطول عن بعضها بازدياد بعدها عن خط  
ا ب العمودى على ا د واذا اخذت من مبدأ الامر عدة خيوط متوازية  
ولويتها كلها دفعة واحدة جاريا في ذلك على الطريقة القديمة مع منعها عن  
التزحلق على بعضها لزم انطواء الخيط المركزى وهو ا ب وامتداد خيط  
المحيط الخارج وهو ب د بحيث يصير جز ا الخيط المتحدان في الطول بين  
قطاعى ا د و ب د كناية عن ا ب و ب د ولاجل حصول  
التوازن بين الخيوط التي يتركب منها الحبل المصنوع بموجب الطريقة القديمة  
وابقاء ذلك الحبل على صورته يلزم اقولا انطواء بعض اجزاء الخيوط الداخلة  
وثانيا امتداد جميع الخيوط الخارجة وماجاورها وثالثا موازنة مقاومة المتد  
لمقاومة الانطواء

ولنفرض حبل مصنوعا بهذه المثابة يكون مشدودا بقوتين واقعتين على طرفيه  
فيكون تأثيرهما فيه كناية عن مده وحيث ان الالياف المركزية منطوية  
فانستعمله من القوى حيث تدعو به تلك الالياف الى حالتها الاصلية وهذه  
القوى لا تعرض لها مقاومة من الخيوط فلذا كانت تتقوى بالانطواء فلا يبقى  
حيث تدما يقاوم تد الحبل الا الالياف الخارجة وماجاورها

فعلى ذلك ليس في صناعة الحبال بموجب الطريقة القديمة ما يقاوم المتد  
والانقطاع الاجزاء واحدا من خيوط كل حبل وذلك لعدم استواء هذه الخيوط  
في المقاومة فانها اذا لم تقبل من المتد الدرجة معينة فان الخيوط الموجودة  
خارج الحبل تصل الى تلك الدرجة بواسطة تأثير قوى جديدة وتقطع قبل أن  
تبلغ الخيوط الداخلة النهاية في المتأومة واذا انقطعت الخيوط الاولى الخارجة

انقطعت حينئذ الطبقة البعيدة عن المركز وسرى ذلك الى ما بعدها حتى يصل الى مركز الحبل

ومعرفة المقاومات المتوالية تعرف الفائدة المترتبة على جعل الخيوط التي يتركب منها الحبل ممتدة بالسوية عند صناعة هذا الحبل وبهذه الطريقة تكون سائر الخيوط مقاومة للمد دفعة واحدة ويؤخذ من ذلك أن هذا التأثير يستدبر غلظ الحبل حيث أن هنالك فرقا كبيرا بين مد الخيوط الخارجة والخيوط الداخلة

وهذه القاعدة هي التي جرى عليها الانكليزي في عمل الآلات الجديدة المعدة لصناعة الحبال ونحن أول من اشتهر هذه الآلات بمملكة فرنسا ثم سلك مهرة المهندسين الفرنسيين في صناعتها طرقا متنوعة اخترعوها فترتب على ذلك نتائج عظيمة لها اهمية في فن البحارة الفرنسيين

فمن ذلك ما صنعه كل من المهندس البارون آير و هوبيرت في مينى بريست و رشوفورت من الآلات التي بواسطتها كانت الحبال المصنوعة اقوى وامتن من الحبال القديمة في ذلك صارت ادوات السفن خفيفة وبجعل القوة في تلك الحبال واحدة يمكن تقصيص اقطارها فتقص ابعاد البكرات المعدة لتحريكها واستعمالها وبذلك تصير صواري السفن خفيفة جدا هذا وما نؤمله أن مينات البحارة الفرنسيين تؤثر في صناعة الحبال الطرق الجديدة المذكورة وترجعها لانها جامعة بين فائدتى الوفرة والمتانة

\*(بيان الخابور)\*

الخابور منشور مثلثي يؤثر بضلعه القاطع وهو **هـ ف** (شكل ١١) ليفصل بين جسمين او جزئين من جسم واحد ويعرف هذا الضلع بهذا الخابور القاطع واما واجهة **ا ب ش د** المقابلة للحد المذكور فتعرف برأس الخابور ويطلق اسم الجبهتين على واجهتي **ا د هـ ف** و **ب ش هـ ف** اللتين على عيني الحد القاطع وشماله

ويستعمل الخابور في كثير من الفنون لتقطع الاجسام او شققها فان السكاكين  
الفرجية والمقاريض والسيوف والبلطخوابير مستعملة دائما في زمن  
السلم والحرب وكذلك الفارات والشفرات او الكوازم والمعازق والمخاريف  
والقاسات ونحوها وبالجملة فان الخابور من اهم الآلات المعدة للشغل

وليكن خابور ابث (شكل ١٢) هو الذي يدفع بواسطة قوة ح  
نقطة ه المسكة بقوة واحدة كقوة غ ونقطة ف المسكة بقوة  
واحدة كقوة ك والمطلوب الان معرفة شروط التوازن في ذلك فيقال  
على اى وجه كانت قوة ح متى لم تكن قوتا غ و ك عموديتين  
بالتناظر على ضلعي الخابور وهما اث و بث فان تقطعت ه و ف  
يتزحلقان على طول هذين الضلعين وبذلك يحتل التوازن فاذا تكون اولا  
قوة غ عمودية على اث وقوة ك عمودية على بث وثانيا  
يلزم لاجل حصول التوازن بين قوى ح و غ و ك الثلاثة  
المؤثرة في خابور ابث أن تكون مجتمعة في نقطة واحدة كنقطة و  
وأن تعتبر احدها محصلة للآخرين فاذا رصمنا على و غ و و ك  
و و ح الممتدة شكل وه ح غ المتوازي الاضلاع فنحصل معنا  
هذا التناسب وهو

قوة ح : قوة غ : قوة ك :: و ح : و غ : و ح  
وهذا هو شرط توازن الخابور

وحيث ان اضلاع مثلث وه ح الثلاثة عمودية بالتناظر على اضلاع مثلث  
ابث الثلاثة يحدث اذن هذا التناسب وهو

قوة ح : قوة غ : قوة ك :: اب : اث : بث  
فاذا كان ضلعا الخابور وهما اث و بث متساويين (شكل ١٣)

لزم أن تكون مقاومة  $\text{غ}$  و  $\text{ك}$  المناسبة لهذين الضلعين متساويتين  
ايضا كما هو الواقع في اغلب العمليات وعليه فاضلاع السكاكين والبلط  
والسيوف من حيث هي متماثلة وحيث تكون نسبة القوة للمقاومة الحاصلة  
لاجل دفع كل ضلع كنسبة عرض رأس الخابور الى طول الضلع  
وكما كانت الخوابير حادة كانت اضلاعها طويلة بشرط بقاء رأس الخابور  
على حالة واحدة وكان ايضا الرأس ضيقا بشرط بقاء الاضلاع على حالة واحدة  
فلذا كان يمكن حصول التوازن بين قوة مفروضة ومقاومة كبيرة بقدر ما يكون  
الخابور حادا وكان ايضا يمكن في ابطال مقاومة مفروضة قوة صغيرة  
بقدر ما يكون الخابور حادا

واذا وقع على نقطة  $\text{هـ}$  او  $\text{ف}$  قوتان بدلا عن قوة  $\text{هـ غ}$  او  $\text{ف ك}$   
لزم أن تكون محصلة هاتين القوتين عمودية على احدى واجهتي  $\text{ا ب}$   
و  $\text{ب ث}$  المتقابلتين وحل هذه المسئلة الجديدة على غاية من السهولة  
وذلك بأن نصل بين  $\text{هـ}$  و  $\text{ف}$  (شكل ١٣) اللتين هما نقطتا وقوع  
مقاومتي  $\text{هـ غ}$  و  $\text{ف ك}$  بمستقيم  $\text{هـ ف ك}$  ثم نسقط  $\text{هـ غ}$   
و  $\text{ف ك}$  على هذا المستقيم بعمودي  $\text{غ غ}$  و  $\text{ك ك}$  فيكون  
 $\text{هـ غ}$  و  $\text{ف ك}$  هما القوتان المبعدتان لنقطتي  $\text{هـ}$  و  $\text{ف}$  عن  
بعضهما

ومتى كان ضلعا  $\text{ا ب}$  و  $\text{ب ث}$  متساويين (شكل ١٣) كانت مقاومة  $\text{هـ غ}$   
و  $\text{ف ك}$  متساويتين ايضا ويحدث من خط  $\text{هـ ف}$  واتجاهي  $\text{هـ غ}$   
و  $\text{ف ك}$  زاوية واحدة فاذن تكون مقاومة  $\text{هـ غ}$  و  $\text{ف ك}$   
الجابيتان متساويتين

واذا فرضنا زيادة على كون قوة  $\text{ح}$  (شكل ١١) عمودية على الحد  
القاطع وهو  $\text{هـ ف}$  أن الخابور تدفعه قوة  $\text{خ}$  الموازية لهذا الحد

فان ذلك الخابور من حيث وقوع تأثير قوة  $\overline{ح}$  عليه يغوص ومن حيث

وقوع تأثير قوة  $\overline{خ}$  عليه يتحرك في جهة الحد القاطع

وبهذا نعرف القضية النظرية المتعلقة بالاجسام المتواصلة الاجزاء المتنوعة  
تواصلا تاما وان لم تثبت لها هذه الخاصية بالنظر لجنسها وطبيعتها فيلزم أن تعتبر  
تضاريسها الصغيرة جدا التي لا تدرك غالبا بمجرد النظر كالخوابير الصغيرة البارزة  
الفائصة في سطح تلك الاجسام

فاذا ضغط الخابور على جسم يقبل الضغط  $\llcorner$  كثيرا او قليلا فان هذا الجسم  
يقع عليه تأثير الضغط ويزداد المقاومة كثيرا حيث بها تكثر نقط تماس الخابور  
بالجسم المذكور

واذا زحلق الخابور الغير المصقول على الجسم صار كما ذكرنا كل تضريس من  
تضاريس سطحه بمنزلة خابور مستقل يغوص في ذلك الجسم مع حصول  
الفائدة التي تحصل من القوة للمقاومة سواء كانت صورة هذه التضاريس  
حادة كثيرا او قليلا فاذن تكون القوة المستعملة في ذلك مع الفائدة كناية عن  
قوة عمودية على اتجاه الحد القاطع تدفع الخابور وقد دلت التجربة على اهمية  
هذه الفائدة العظيمة في كثير من اشغال الفنون

ويتضح ما ذكرناه بالا لآلة المنتظمة التضاريس انتظاما تاما بواسطة الصناعة  
وهي المنشار بأن تفرض لوحا معدنيا كلوح  $\overline{أ ب ش د}$  (شكل ١٦)

يكون ضلعه وهو  $\overline{ش د}$  مصنوعا على وجه بحيث تكون زواياه

وهي  $\overline{أ و أ}$   $\overline{و أ و}$  الخ متساوية ونستعمل بالتعاقب قوتى  $\overline{ح}$  و  $\overline{ز}$   
المتساويتين لاجل شد المنشار ودفعه على جسم  $\overline{م ن}$  واما القوة الثالثة

وهي قوة  $\overline{ح}$  التي هي في الغالب كناية عن ثقل المنشار فان تأثيرها يكون  
على اتجاه عمودى وهذا المنشار كناية عن الخابور المركب الذي يستعمل في نشر  
الاخشاب والمعادن وكثير من الاجسام الاخرى

واذا اريد قطع هذه الاخشاب او المعادن بمنشار ثابت واقع عليه تأثير ثقل



عظيم جدا كنشار **اب شد** (شكل ١٦) استحال تقسيها وتعذر  
 مالم يتوصل الى ذلك يذل مجهودات خفيفة بأن يحرك الجسم تحركا مترددا  
 يضاهي تحرك المنشار

ولست صورة الزوايا البارزة المسماة بأسنان المنشار المرموز اليها بحروف  
**ا و آ و ا** متعددة بل تنوع في كل منشار بحسب طبيعة الاجسام  
 وصلابتها

فاذا كان المراد نشر اجسام صلبة جدا وجب الاهتمام بجعل الاسنان صغيرة  
 ومتقاربة من بعضها وجعل كل واحدة منها معدة لآن ترفع في كل حركة من  
 حركات المنشار جزأ صغيرا من الجسم الصلب واما اذا كان المطلوب نشر اجسام  
 دون ذلك في الصلابة فانه يلزم جعل ابعاد الاسنان كبيرة وجعل صورتها على  
 شكل منحن كما في شكل ١٧ عوضا عما هو الغالب من جعلها على شكل مثلث  
 مستو وليس للمنشار المعد لنشر الحجر والرخام (شكل ١٥) اسنان  
 اصطناعية بل هو كناية عن صفحة من فولاذ تشد وتدفع على الكتلة التي يلزم  
 نشرها ويقوم مقام الاسنان رمل معد في احرفه الحادة تعمل على الخواير \*  
 ويستعمل في نشر حجر الصوان السنفرة بدلا عن الرمل ولا يشترط أن تكون  
 صفحة المنشار شديدة الصلابة وربما كانت من الحديد الناعم وعلى ذلك يمكن  
 ادخال الرمل او السنفرة الى حدة المنشار القاطع بوجه مستحسن

ولا يقتصر في الخواير المضروسة على جعل حدها القاطع مستقيما بل قد يكون  
 مستديرا وقد يكون على شكل منحنيات متنوعة

ومحيط المناشير المستديرة (شكل ١٨) مملوء بالاسنان فهي بذلك شبيهة  
 بالمناشير المعدة لنشر الاجسام الصلبة جدا (شكل ١٦) وبالمناشير المعدة  
 لنشر الاجسام التي دونها في الصلابة (شكل ١٧) ولا بد في صناعتها من  
 مزيد النشاط والمهارة في سقاية المعادن المتخذة هي منها وليس هذا محله وفي  
 العادة تصنع المناشير الصغيرة المستديرة من صفحة من الفولاذ مركبة على  
 محور من الحديد

وأما المناشير المستقيمة فينشأ عنها ضررون غيرها من الآلات التي تخرقها  
متردد وذلك أنها في حالة رجوعها يكون زمن تلك الحركة خاليا عن الفائدة  
بخلاف المناشير المستديرة المستمرة التأثير في جهة واحدة فان زمن الحركة فيها  
لا يتخلو عن الفائدة

ويشترط في المناشير المستديرة أن تكون شديدة السرعة في الدفع حتى تعظم  
فائدة تأثيرها وليلاحظ حيث نذكر أنه يكفي ضغط الجسم المراد نشره قليلا على  
المشار حتى يحصل النشر مع غاية السرعة والسهولة ثم ان محاور المناشير  
المستديرة تكون موضوعة بالتوازي للسطح الافقي من التازجة ومعشقة بها  
بحيث يكون مستوى المنشار عمودا على مستويا فاذا اريد عمل منشورات  
تكون جميع واجهاتها عمودية على بعضها فان قطع الخشب المطلوب نشرها  
توضع على وجه بحيث تكون احدي واجهتيها وهي المجهزة للنشر متحركة  
على مستوى التازجة والاخرى متحركة مع عماشها الدليل ثابت مواز لمستوى  
الطارة على بعد لائق وبتقديم قطعة الخشب المراد عملها يظهر بالبداهة أن  
مستوى المنشار يرسم فيها قطاعا موازيا للواجهة المستوية المستندة على  
الدليل فاذا تم عمل هذه الواجهة طبقت على الدليل وصارت واسطة في عمل  
واجهة اخرى من القطع المراد نشرها وتتوصل بهذه الطريقة الى عمل  
منشورات مربعة او مستطيلة معاومة السكون ولا يتخلو هذا العمل عن الفائدة

الثامنة اذا اقتضى الحال عمل عدة منشورات متحدة الجسم

ولامانع من استعمال المناشير المستديرة في الترسانات البحرية والطوبجية وسائر  
ورش الصناعات مع الفائدة وقد استعملت هذه المناشير في مملكة فرنسا  
وكنتم اول من قلها اليها من مملكة الانكليز

ولابأس أن نذكر هنا على سبيل الاختصار المناشير الكبيرة المستديرة المعدة  
لنشر اخشاب الطبق كنشب الكايلي فنقول المنشار الكبير المستدير عبارة  
عن طارة قطرها ستة امتار تقريبا متركبة من تصاليب رفيعة جدا في الجهة  
العمودية على مستوى المحور وعرضه جدا في جهة هذا المحور مبتدأ منه

واحدة في تناقص عرضها شيئاً فشيئاً كلما قربت من محيط الطارة وهذا المحيط  
محاط بعدة قسي من صفائح الفولاذ مخرسة يتكوّن من توأصلها المنشار  
المذكور ثم إن تلك الطارة تتحرك بواسطة آلة بخارية وتكون كتلة خشب الكابلي  
مثلاً المطلوب نشرها مثبتة على عربة تكون سرعتها المتزايدة مناسبة لسرعة  
الطارة وكلما دارت هذه الطارة غاصت في الكتلة وفصلت عنها جزءاً من سمكها  
يلغ ٢ ملية تقريباً وينتج هذا الجزء قليلاً بمجرد انفصاله بحيث يكون  
على شكل محدب حادث من سطح دوران مركب من صفائح معدنية أو ألواح  
خفيفة مثبتة على تصاليب الطارة وبهذه الطريقة تشر أجراء الطبوق التي  
عرضها غالباً مترو نصف تقريباً وأعظم مناسير هذا النوع هو منشار المهندس  
برونيل الذي صنعه في معاملته التي في باترسى قرياً من مدينة لندرة  
وكثير من الآلات ما هو في الحقيقة مناسير وذلك كالتناجل والمقاصل والمبارد  
وكيفية عمل المناجل والمقاصل (شكل ١٩ و ٢٠) أن يصنع محيطها  
وهو **أ ب ث** على وجه بحيث يكون له تضاريس واسنان هي كناية عن  
خواير متقاربة من بعضها بالكلية ويحدث من حدها القاطع مع المحيط  
زاوية واحدة في سائر جهاتها فكل قبضة من الزرع المصود أو الحشيش  
اليابس قابلية الآلة تقطع من سمكها بواسطة الاسنان المذكورة فإذا كان  
التحرك سريعاً جداً أخذت المقاومة في التناقص بحيث تقطع العيدان النباتية  
وهي **ب** بدون تكسر والواجب أن يبدل في قطعها قوة عظيمة بتحرك  
الآلة عمودياً على محورها ولا يخفى ما في هذه الحالة من المشابهة البينة بين تأثير  
المخل والمقصل والمنشار المستدير

وقد صنعوا من هذا القليل سيوفاً حدها القاطع ذو اسنان وتضاريس وهي  
اسلحة فظيعة عظيمة التأثير لا تلايم إلا أهل التجربة والخشونة  
وما يسمى عند أهل المشرق بالسأكرية له تأثير كثر المنشار المستدير فترى  
الرجل من أهل أسبانيا لا عن كونه يطعن بها عمودياً على حدها القاطع يقبض  
عليها ويجعلها على اتجاها يده حتى تصل إلى الشيء المراد قطعه وتجرحه فعند ذلك

تغوص في الجرح اسنان الحد القاطع على التوالي فيكون تأثير تلك الاسنان الغائصة كمتأثير اسنان المنشار فلذا كانت جروح الشاكريات بهذه الطريقة أعرق وأعرض عما اذا كانت حاصلة من الطعن بالحد القاطع طعنا عموديا على السطح المراد قطعه

واما المبارد والمحكات (شكل ٢١ و ٢٢) فهي كناية عن سطوح مضرسة لها اسنان كالخواير الصغيرة المتساوية التي تكون عادة مستوية الوضع اى مصنوعة على ميل يحدث منه مع محور المبرد او المحك زاوية تبلغ ٤٥ درجة فاذا تقدم المبرد او تأخر على سطح الجسم المراد صقله حدث على ذلك السطح من الخواير حوز متساوية يعقبها ملوسة السطح وصقلته في رأى العين وذلك لشدة تواصلها وتلاصقها ثم ان الاولى في استعمال المبرد ما كان له اسنان كثيرة وصغيرة جدا اذ به يتقص بالتدريج عرض وعمق الحزوز التي تحدث على سطح الجسم المطلوب صقله حتى تكثروا يقل عمقها بحيث لا يمكن ادراك تجويفه بحاسة البصر فعند ذلك يظهر للناظر ان السطح المبرد على غاية من الصقالة ومما ينبغي التنبيه عليه ان المبرد لا يتوصل تأثيره في جهة واحدة بل ينتقل بالتدريج على سطح الجسم المراد صقله في اتجاهات مختلفة وبذلك تتقاطع الحزوز وتزول خشوتها

واما اذا كانت اسنان المبارد والمحكات ليست على بعد واحد من بعض افلا يمكن ان نصقل سائر اجزاء سطح الجسم المقروض صقلا مستويا فلا بد في جودة الصقل من ان تكون المبارد والمحكات محكمة الصناعة ومنظمة انتظاما هندسيا

ومما ينظم في سلك المبارد والمحكات الكردات وهي عبارة عن خواير متفرقة عن بعضها وطويلة جدا ومتوازية ولها شبه باسنان المبارد التي على وضع مستو ولكن ليس الغرض منها الصقل وازالة ما في سطح الجسم من الخشونة وانما تستعمل لنظم الخيوط في اتجاهات معينة وتدخل في النسيج غير المنتظم الحادث من هذه الخيوط فتقسمه الى خيوط رفيعة جدا ثم تنظم تلك الخيوط

بواسطة تأثير ضغط خفيف

والشئنة المعدة لتسريح الصوف المسجاة عند العامة بالشيخة تأثير كتأثير الخواير  
ومن هذا القبيل ايضا الحديد التي تطهرها الخيل وهي مركبة من عدة صفائح  
مسننة متجهة بالتوازي لبعضها ومتحركة بقوة مشتركة وكذلك المشط المعد  
لترجيل الشعور وتسريحها واما محركات السكر (شكل ٢٣) والفرش  
والمقشاش فتأثيرها كتأثير المنشار وذلك كالخرف المعد لحك الامتعة وتكميل  
صقل السطوح

وكذلك المسلفة والمجرفة فتأثيرها مشابه لما ذكر في تنظيم سطح الارض وهذا  
ولم نستوف جميع آلات هذا النوع

ويستعمل في صقل محصولات الصناعة اجسام مركبة بالطبع من اجزاء  
صغيرة هي في الحقيقة خواير حادة وصلبة جدا فن ذلك حجر الخرفش وحجر  
السن فانهم معدان اصقل السطوح ويزيد الثاني اي حجر السن باختصاصه  
بسبب الآلات القاطعة وما يوجد بسطحه المتباين من الخواير العديدة يستعمل  
في اصطناع السطوح الكبيرة المتواصلة من الآلات القاطعة وهناك ابحار  
سطحها الاصطناعي مستوي واخرى سطحها الاصطناعي مستدير

وليست ابحار الطواحين مقصورة على دق الحبوب وتفنيته بل تعلقها وتطحنها  
بتأثيرها الشبيه بتأثير الخابور ويعين على ذلك الافاريز المصنوعة في السطح  
المستوي من هذه الابحار

ولما نهينا الكلام على الخواير المنشورية اي التي على شكل المنشور ناسب  
أن نتكلم على الخواير المخروطية او الهرمية ~~كما~~ المنقاش والسامير وبعض  
الاسلحة والآلات المستعملة في الفنون الحربية والملكية فنقول اذا اريد  
ادخال منقاش او مسمار مخروطي او هرمي (شكل ٢٤ و ٢٥)  
في جسم يقاوم ذلك فان كانت المقاومة مناسبة للاخراج الحاصل بين اجزاء هذا  
الجسم ولكمية النقط التي يلزم بعدها عن بعضها امكن أن نبرهن على أن الجهد  
اللازم لادخال المسمار او المنقاش يكون مناسباً مقدارا ينسب الجزء القروض

غوصه من ذلك المنقاش والمسمار لان هذا المقدار مأخوذ بالنسبة لمحور المسمار  
او المنقاش المعتبر كهرم او خابور

ومن الخواير الهرمية او المخروطية ايضا كثير من الآلات المستعملة  
في الصناعة كالسفود والخنجر والسفجة والابرة والدبوس والآلات الحفر والنقش  
وما اشبه ذلك ويشاهد في الحيوانات ما هو على صورة خواير متنوعة الشكل  
لاجل الاقتراس او الذب بها وذلك كالاسنان والقرون والاظافر والمخالب  
ومخوها ومثل ذلك كثير جدا لا يمكن حصره

وقد ابتدع ارباب الصنائع تركيبا يدعى لاتحاد انواع البريمة والخابور حيث  
ان كلا منهما على انفراده يحصل به التوازن بين المقاومة الكبيرة والقوة  
الصغيرة وباجتماعهما يحصل التوازن بين قوة اصغر من المتقدمة بالنسبة  
للمقاومة

ومن هذه الآلات المركبة ما الغرض منه الدخول في الاجسام كالمنقباب  
والمسمار ومنها ما هو معد لقطع الاجسام فاذا فرضت خابورا مخروطيا ممتدا  
جدا ونئيت هذا الخابور على صورة الخيلزون حدث من ذلك الآلة المعروفة  
بالبرمة او كاشة المدفع التي الغرض الاصلى منها الدخول في السدادة وفي ممحمة  
الاسلحة النارية

ولاجل تحصيل النسبة بين القوة والمقاومة في مثل هذه الآلة يلزم أن نلاحظ  
انه اذا كانت هذه الآلة بريمة كانت النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة  
كنسبة المحيط المقطوع بهذه القوة الى خطوة البريمة ثم ان كان طرف البرمة  
او كاشة المدفع منقبابا كانت النسبة الحاصلة بين القوة والمقاومة كنسبة طول  
هذا الخابور المقروض الى سطح قاعدته مضروبا في مربع نصف قطر هذه  
القاعدة فيكون حاصل هاتين النسبتين هو عين حاصل النسبة الواقعة بين القوة  
والمقاومة غير أنه يلزم التنبيه على أن الاحتكاك يعدم جزأ عظيما من القوة  
وهي مع ذلك اكبر من المقاومة

والنوع الثاني من اتحاد البريمة والخابور وهو اجتماعهما معاه اهمية عظيمة

وهو أكثر استعمالا من الأول ويدخل فيه المثاقيب الكبيرة والمخاريز ونحوهما  
(شكل ٢٦ و ٢٧) فإذا فرضنا خابورا ثابتا على طول ضلع الاسطوانة  
وفرضنا أن هذه الاسطوانة تتحرك كمنزلق كما ستدري اني كل وقت يمكن أن نعتبر  
أن هذا الخابور مدفوع بقوة واقعة على حده القاطع وبعظم تأثير هذه القوة  
كلما كان الخابور في زاوية حادة جدا بالنسبة للجسم المطلوب تحريكه  
وإذا فرضنا الآن ضلعاً منفتحاً أثناء حركته لئلا ينعكس الضلع المستقيم فإن الحد  
القاطع من الخابور عوضاً عن كونه يقطع الجسم قطعاً عمودياً على اتجاه التحرك  
الحاصل له يقطعه قطعاً مائلاً ويكون تأثيره كتأثير الخابور المستقيم الذي  
يوجه اتجاهه مائلاً كالشواكرو في هذه الصورة تعظم القوة بالنسبة للمقاومة  
حتى ينشأ عن حركته الحد القاطع مع ضلع الاسطوانة المنثنى عليها هذا الحزون  
زاوية كبيرة فإذا اريد عمل مثاقيب كبيرة تامة الصلابة لزم الاهتمام بجعل  
حده القاطع حاداً جداً واحدنا مع ضلع الاسطوانة المجمولة محورا لهذه  
الآلة زاوية كبيرة

ويجد في المثاقيب والمخاريز فراغا عظيماً في خلال كل خطوة من خطوات  
البريمة الحادثة عن خيوطها الحادة متى ثبتت تلك الآلة بالجسم المطلوب تحريكه  
انفصلت عنه اجزاء تكون صورتها على شكل الحزون وتبصر في الفراغ  
الموجود بين ادوار تلك الخيوط ومع ذلك فلا بد من التنبيه على أن تلك الاجزاء  
لا تشغل الاجزاء من الاسطوانة الكلية التي يثقبها المثقاب او المخراز وعلى انها  
تكون ممتدة او منكسرة بمجرد انفصالها وهذا الانكماش يضر بتأثير الآلة  
ولكن لاجل منع ازدياده من زمن الى آخر فنجد المخراز او المثقاب كي يخرج  
الاجزاء المنفصلة ثم نأخذ في الثقب ثانياً ويكون العمل بعد ذلك سهلاً

وقد عمل المهندس استفان بريس في الآلة المعروفة بالمقرض لكونها تزيد  
وبر الجوخ عملية يدعية تتعلق بالبريمة والخابور وأول من جلب هذه الآلة  
الى مملكة فرنسا هما المهندسان المسمى كل منهما بوبارد وقد حسنها  
المهندس يوهن كواير تحسيناً يينا ولاجل تصورها فنرض آلة قاطعة

كالوسى معوجة على صورة الحزون ممتدة وملتفة على محيط اسطوانة مجوفة ونضع بمحاسة الاسطوانة التي يقطعها الحد القاطع من الصفائح الحلزونية صفحة ثابتة مستقيمة وموازية لمحور هذه الاسطوانة وتحت هذه الصفحة بالقرب منها جد بحيث يكون للقماش المراد ازالة وبره محل يوجد مسند مواز ايضا للصفحة الثابتة ومحور الاسطوانة فتبعد احد طرفي الجوخ عندهم جدا مشدودا وملتفا على قرص بكرة بخلاف الطرف الاخر فانه يكون مغلا من فوق اسطوانة اخرى مخصوصة ويجرد مرور الجوخ بين المسند والصفحة الثابتة يلاقى صفحة حلزونية تتقدم بحسب ميلها على طول تلك الصفحة وترى جميع ما يكون بارزا على القماش من الوبر فتي جاوزت الآلة الحلزونية عرض الجوخ شرعت في ازالة الوبر آلة اخرى حلزونية ابداً حركة من الصفائح الحلزونية

\*(الدرس الثالث عشر)\*

\*(في بيان ما يقع في الآلات من الاحتكاك)\*

اذا كانت الاجسام مصقولة مقلدا تاما امكن أن تترحل على بعضها بدون أن يعرض لها ادى مقاومة من تماسها ببعضها فاذا يجرى هنا جميع النسب البسيطة السهلة التي تكون بين القوى والمقاومات بدون حدوث تغيير في سائر الآلات التي ذكرناها على اختلاف انواعها ولكن لا يمكن أن يكون سطح الاجسام بهذه المثابة من بلوغ الغاية في الصقل فلامانع حينئذ من تحرك الاجسام على بعضها بدون أن يحصل من خشونة مسطحاتها ادى مقاومة تبطل هذا التحرك ومثل هذه المقاومة يعرف بالاحتكاك

فاذا اراد حينئذ معرفة المقدار الحقيقي لتأثير القوى الواقعة على الآلات لزم معرفة قيمة مقدار الاحتكاك ووضع هذه المقاومة الجديدة الى المقاومات المعلوم مقدارها الحقيقي من النظريات

ومن الطبيعيين والمهندسين من بحث بالتعاقب عن قوانين الاحتكاك سالكا



في ذلك مسلك النظريات والعمليات مثل اموتونس وموتجورويك  
وكاموس وبوسوت فهم الذين بحثوا عن هذه المسئلة بالتعاقب الانهم  
لم يوفوا بما حثها على ما ينبغي فاعتنى بتكميلها الشهير كلب بتجارب بدیعة  
وتوضیحات عظيمة تدل على فطنته وجودة قريحته

فلينبغي الرام كل من تصدى لتكميل فنون الصناعة بالسج على منوال  
كلب في النظريات المتعلقة بالالات البسيطة مع الالتفات الى احتكاك  
الاجزاء الصلبة وانكماش الحبل ليظهر لهم بواسطة التجارب التي يشربون  
فيها انه يمكن وضع قواعد تسهل بها الحسابات التي لا يمكن معرفتها بمجرد  
النظريات بل لابت في ذلك من ضخمة تلك التجارب اليها

فلنفرض قبل الشروع في معرفة تأثير سطحين يتزحلقان على بعضهما جسما  
موضوعا على مستوئ مثل ميلا كافيا فيلزم بمقتضى الدعوى النظرية المقررة  
في شأن المستوى المائل أن الجسم يسقط بتأثير التناقل مع سرعة معجلة تكون  
نسبتها للسرعة المعجلة لهذا الجسم الساقط بدون معارضة على مستقيم رأسي  
كنسبة ارتفاع المستوى المائل الى طوله ومع ذلك فقد يكون الجسم ساكنا  
فمن ذلك الورق والريش والدواق التي توضع غالبا على لوح التختة المائل بدون أن  
تدلق على طول هذا المستوى فتكون بالبداهة مقاومة الاحتكاك اكبر من  
قوة التناقل فاذا املنا بواسطة الاحتكاك هذا المستوى المستقرة عليه تلك  
الاجسام شيئا فشيئا فاننا نصل الى الوضع الذي يكون مبدأ التحرك هذه الاجسام  
وهو وضع يكون فيه تناقل الجسم من مبدأ الامر اكبر من مقاومة الاحتكاك  
فعلى ذلك لا مانع من سلوك هذه الطريقة في معرفة درجة الاحتكاك الحادث  
بين اجسام متنوعة عند تحركها على بعضها ويستنبط من ذلك عدة فوائد  
مهمة

مثلا اذا كانت الاجسام موضوعة على المستوى المائل منذ مدة فانها لا تأخذ  
في التحرك عليه الا اذا املناها اكثر مما اذا وضعت على مستوئ ميه معلوم وحصلت  
املته باثر الوضع فعلى ذلك اذا استقرت الاجسام مدة من الزمن على مستو

مادى فانها تكتسب بهذا النوع التصاق به تزداد المواضع التي يلزم الطهور عليها  
والنظر بها

ولنؤثر على هذه الطريقة الطريقة التي جرى عليها كلب مع بيان آلمه  
فنعول

ان تلك الالة عبارة عن تازجة صلبة (شكل ١) مثبت عليها لوحان كلوحى  
م م و م م غليظان ومتوازيان ومتلاصقان وكل من اطرافهما يربد  
في الطول على التازجة وبين التهايين البارزين من احده طرفى اللوح قرص  
بكرة محوره على اللوحين المذكورين كقرص ر وعلى التهايين البارزين  
من الطرف الاخر منحنون افقى كمنحنون ط ط

وعلى هذين اللوحين الغليظين تثشيبه من اللواح كخشبية ح ح  
جيدة الصقل يربدان عنها في الطول نحو متر ونصف وهي التي تتزحلق  
عليها الاجسام التي يراد عند تحركها معرفة مقاومتها الناشئة عن  
الاحتكاك وهذه الاجسام مسطحات من الخشب (شكل ٣) على  
اطرافها حالتا ث و ث المعدة احدها لاساك طرف الحبل الذى  
يلتف على عمود المنحنون (شكل ١) وهذا الطرف هو محل تأثير القوة  
والثانية لاساك طرف الحبل الذى يمر بحلق قرص البكرة ويوجد على هذا  
الحبل تارة كفة ميزان ككفة ب (شكل ١) يوضع فيها اتصال بقدر  
ما يراد لاجل تبويب القوة وتارة رافعة كرافعة ل (شكل ٢) تؤثر  
في هذا الحبل بواسطة ثقل كذراع القبان

ثم ان اول عملية اجراها كلب بموجب هذه الطريقة هو انه وضع على لوح  
الاختبار نقالة (شكل ٣ او ٤ او ٥ او ٦) تتزحلق على هذا  
اللوح ثم تستقر لحظة من الزمن

وكان كل من النقالة (شكل ٣) واللوح المذكورين من خشب البلوط  
وهذا النوع من الخشب اذا استقرت عليه النقالة مدة ثائية او ثايتين او ثلاث

نوان الى عشرين وان فلا بد في تحريكهما من قوة كبيرة غير أن القوة التي تستعمل عقب دقيقة في يدي تحرك النقاله وهي قوة الضغط تكون مع قوة مقاومة الاحتكاك في نسبة لا تتغير الا من ١٠٠ : ٢٢١ الى ١٠٠ : ٢٤٦ وان كانت الانضغاطات تختلف من ٢٧ كيلوغراما الى ١٢٣٠ كيلوغراما

ولاجل معرفة التأثير الناشئ عن سطح الاحتكاك الممتد كثيرا اوقليا لا يسير باسفل النقاله منشوران من البلوط كمنشوري ط و ط (شكل ٤) وحيث ان جزء هذين المنشورين المماس للوح الاختبار مستدير على شكل اسطوانة لم يبق لسطح الاحتكاك من العرض الامتداد يسير فيكون حينئذ اتجاه المنشورين المذكورين موازيا لاتجاه تحرك النقاله ولا فرق هنا بين مقاومات الاحتكاك متى تحركت النقاله بمجرد وضعها على لوح الاختبار او بعد وضعها عليه بمدة يسيرة

وفي الانضغاطات التي تختلف من ٤٠٠ الى ١٣٠٠ كيلوغرام في كل متر مربع لا تختلف نسبة الضغط الى القوة اللازمة للظفر بالاحتكاك الا من ١٠٠ : ٢٣٦ الى ١٠٠ : ٢٤٠ ومثل هذه النسبة يمكن اعتبارها ثابتة تقريرا وحيث لا يلاحظ انها مساوية تقريبا للنهاية الكبرى من نسبة الانضغاطات الى الاحتكاك كانت متى احتكت النقاله بجميع مسطح قاعدتها على لوح الاختبار فاذا اخذنا المقادير المتوسطة في الصورتين بواسطة

التجارب وجدنا الفرق بينهما لا يبلغ واحدا من ثلاثة وعشرين

فاذا كان الضغط صغيرا كان الاختلال كبيرا واذا كانت الاحمال كبيرة لم يظهر الخلل وتكون نسبة الضغط الى مقاومة الاحتكاك ثابتة تقريرا مهما بالغ امتداد السطح الواقع عليه الاحتكاك

ثم انهم بعد أن اختبروا احتكاك البلوط على البلوط اختبروا ايضا احتكاك الراتنج على البلوط استبدلوا المنشورين المخذين من خشب البلوط الموضوعين اسفل النقاله بمنشورين من خشب الراتنج

واذا تحركت النقالة بعد وضعها على لوح الاختبار بمدة يسيرة فان مقاومة الاحتكاك تصغر ما يمكن لكنها بعد عشر ثوان تكبر بمقدار ما تبلغه بعد مضي ساعة

فاذا بلغت مقاومة الاحتكاك نهايتها الاصلية بواسطة تأثير جل عظيم كانت نسبة الضغط الى هذه المقاومة هي نسبة ١٥٠ : ١٠٠

واذا ثبتنا على لوح الاختبار قاعدتين من الراتنج تترحل عليهما النقالة التي استعملناها في التجارب المتقدمة فانه عند احتكاك الراتنج على الراتنج بهذه المثابة تكون دائما ادى مقاومة للاحتكاك حاصلة متى تحركت النقالة باثر وضعها على لوح الاختبار الا انه اذا مضى على تلك المقاومة عشر ثوان كبرت بمقدار ما لمضى عليها ساعة وفي هذه الصورة تتغير نسبة الانضغاطات الى المقاومات من ١٨٥ : ١٠٠ اذا كان الضغط صغيرا الى ١٧٧ : ١٠٠ اذا كان كبيرا

ويحصل اختبار احتكاك خشب الدردار على الدردار بالكيفية المتقدمة وهي أن يسحر منشوران بأسفل النقالة وقد ذكر كلب أن خشب الدردار الذي يجده منه الانسان عند اللمس لطافة ونعومة كالقطيفة هو في التصاقه ببعضه اشد بطلما من سائر الاخشاب المتقدمة ويظهر به ازدياد الاحتكاك بعد مضي عدة ثوان ولا يبلغ نهايته الكبرى اذا كان الضغط يساوي ٢٢ كيلو غراما الا بعد استقرار الخشب اكثر من دقيقة وعلى ما ذهب اليه هذا العالم الطبيعي من أن الضغط يتغير من ٢٢ كيلو غراما الى ٨٣٠ كيلو غراما تكون نسبة الضغط الى مقاومة الاحتكاك من ٢١٤ : ١٠٠ ومن ٢٩٨ : ١٠٠ وهاتان النسبتان لكون ما بينهما من الفرق قليلا جدا يصح اعتبارهما متساويتين في سائر نتائج العمليات المحضة ولنذكر لك هنا ما بين ثقل النقالة وجلها ومقاومة الاحتكاك الناشئة عن هذا الثقل من النسب المتوسطة المستنبطة من التجارب السابقة فنقول انه يحدث

٢٣٤ : ١٠٠	عند احتكاك البلوط على البلوط
١٥٠ : ١٠٠	وعند احتكاك البلوط على الراتنج
١٧٨ : ١٠٠	وعند احتكاك الراتنج على الراتنج
٢١٨ : ١٠٠	وعند احتكاك الدرر على الدرر

وفي سائر التجارب التي اسلفنا الكلام على نتائجها يكون تزلزل الخشب على بعضها في اتجاه عروق الخشب قد وجهت في تلك التجارب المتواليات عروق منشوري ط ط السمرين بأسفل النقالين اتجاهها عموديا على عروق خشب لوح الاختبار ( شكل ٥ ) وعلم مما سبق انه لا بد من استقرار الخشب مدة من الزمن حتى تبلغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى وان نسبة الضغط بلغت من ٢٥ كيلوغراما الى ٨٢٥ والنسبة بين هذا الضغط ومقاومة الاحتكاك هي دائما ثابتة تقريبا فانها عند احتكاك البلوط على البلوط مع قطع النظر عن عروق الخشب المتاسة تكون

٣٨٥ : ١٠٠ في الانضغاطات الصغيرة

٣٦٧ : ١٠٠ في الانضغاطات الكبيرة

وعند عدم المانع تعظم الفائدة في احتكاك الخشب على بعضها اذا كانت عروق القطع المتاسة متجهة على بعضها اتجاهها عموديا عواضا عن كونها تزلزل على عروق قطعتين متماسكتين

ثم ان احتكاك المعادن على الخشب ( شكل ٦ ) لا بد فيه من مكث الجسمين متماسكين زمنا طويلا حتى تبلغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى واقل ما يلزم لذلك اربع ساعات او خمس بخلاف احتكاك الخشب على بعضها فان الدقيقة الواحدة تكفي في كون المقاومة تآخذ في الازدياد من زمن الى آخر فلا بد في الصورة الاولى من طول المدة حتى تمنع هذه المقاومة عن الازدياد بالكلية

فاذا استقر الجسمان على بعضهما اربعة ايام تغيرت نسبة الانضغاطات الى مقاومة الاحتكاك من ٥٣٠ : ١٠٠ الى ٤٨٦ : ١٠٠

إذا كان تغير الانضغاطات من ٢٦ كيلوغراما الى ٨٢٥ كيلوغراما ويحدث من النحاس مثل هذه النتائج في الزمن الذي تبلغ باثره مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى وفي نسبة الضغط الى هذه المقاومة وهي ١٠٠ : ٥٠٠

وبعد ترزلق المعادن على الخشب يسمر على لوح الاختبار (شكل ٧) قاعدتان من الحديد في غاية من الاحكام والصقل ترزلق عليهما قاعدتان اخريان من الحديد ايضا مثبتتان اسفل النقالة وفي هذه الصورة تظهر من اول وهله اعظم مقاومة للاحتكاك فتكون النسبة على هذا المثال قدر الضغط ضغط مقاومة الاحتكاك

احتكاك الحديد على الحديد } ٢٥ كيلوغراما :: ٣٤٠ : ١٠٠  
٢٢٥ كيلوغراما :: ٣٦٣ : ١٠٠

فيمكن أن تعتبر مقاومات الاحتكاك هنا مناسبة للانضغاطات تقريبا وكذلك الحديد اذا احتك على النحاس الاصفر فان نسبة الانضغاطات فيه الى مقاومة الاحتكاك تكون بهذه الصورة

قدر الضغط

احتكاك حديد على نحاس اصفر } ٢٥ كيلوغراما :: ٣٦٠ : ١٠٠  
٢٢٥ كيلوغراما :: ٤٠٠ : ١٠٠

فاذا احتك الحديد على النحاس الاصفر وكانت ابعاد سطوح التماس صغيرة ما يمكن بأن جعل مثلا على قاعدتي النقالة المتخذتين من الحديد اربع مسامير من النحاس رؤسها مستديرة ومثبتة باسفل النقالة حدثت هذه النسبة وهي الضغط مقاومة الاحتكاك

إذا كان قدر الضغط ٤٣ كيلوغراما كانت النسبة ٥٩٠ : ١٠٠  
وإذا كان ٤٢٥ كيلوغراما كانت النسبة ٦٠٠ : ١٠٠

وهذه التجربة مترتبة على تنبيه مهم وهو انه بمجرد ما تنحرك على قاعدتي الحديد النقالة الهاطة بمسامير من نحاس تكون النسبة ٥٠٠ : ١٠٠ ولكن

بعد حصول التحرك عدة مرات يصقل الحديد والنحاس صقلا تاما بواسطة احتكاكهما على بعضهما فتصير هذه النسبة ٦٠٠ : ١٠٠ وبذلك تنقص مقاومة الاحتكاك وحينئذ فالاجار والرمل وسائر الآلات التي تستعمل في الصقل لا تزال خشونة سطوح الاجسام بالكلية وانما يزيلها الاستعمال بواسطة الانضغاطات العظيمة التي تحصل عند سرعة تحرك الآلات

وفي كثير من الفنون اذا اريد تقيص مقاومة احتكاك سطحين يتزحلقان على بعضهما يوضع بينهما اجسام دسمة كالزيت والدهن وشحم الخنزير القديم وما اشبه ذلك وهذا هو ما يغاب استعماله في ذلك الغرض ولا بد من معرفة الدرجة التي تبلغها الادهان في تقيص المقاومات وقد استعمل كلب في مبداء الامر الشحم النقي

ولا تبلغ المقاومة بهذا الدهن نهايتها الكبرى الا بعد مضي مدة طويلة جدا فاذا مضت خمسة ايام اوسسته كبرت هذه المقاومة عما كانت عليه أولا بنحو ١٤ مرة اذا كان سطح النحاس كبيرا بالنسبة للضغط واما اذا كان صغيرا فان نسبة الانضغاطات الى المقاومات تبلغ نهايتها الكبرى سريرا

وقد وُضع الدهن في التجارب المتقدمة مدة يسيرة ووضع ايضا فيما بعده من التجارب مدة ثمانية ايام فكان على غاية من الصقل الآن دسامته قلت عما كانت عليه أولا وكانت ايضا مدة استقراره لها تأثير عظيم في مقاومة الاحتكاك ولوحظ أنه اذا استقر بقدر هذا المدة حدث عنه مقاومة ادنى من مقاومة الدهن الموضوع منذ مدة يسيرة

ثم ان كلب اوقع الاحتكاك بين قاعدتين من النحاس مثبتتين باسفل النقالة واخرين من الحديد مثبتتين بلوح الاختبار ومدهونتين بشحم جديد يبلغ سمكه ٥ ملليمتر تقريبا فازدادت مقاومة الاحتكاك في مبداء الاستقرار ثم بلغت نهايتها الكبرى بعد مضي مدة يسيرة

واذا قطعنا النظر عن التصاق السطحين المتماسين الذي هو كناية عن كمية ثابتة

حدث عن تحريك النقالة بدون واسطه أن مقاومة الاحتكاك تكون مناسبة للانضغاطات في نسبة ١٠٠ : ١١١٠ ولما كان تأثير الالتصاق كما ذكرنا مهمل بالنسبة للإجمال العظيمة كان للدهن فائدة عظيمة أذ بدونه يحدث من ضغط قدره ٦٠٠ كيلوغرام ١٠٠ كيلوغرام من مقاومة الاحتكاك بخلاف ما إذا كان الدهن بالشحم فلا تحصل المائة المذكورة إلا بضغط قدره ١١١٠ كيلوغرام وبالجملة حتى كانت السطوح مدهونة بالشحم لم تتغير نسبة الانضغاطات إلى مقاومات الاحتكاك أصلا مهما كان امتداد السطوح المتحاسة وهذا إذا كان مقدارها غير مناسب للضغط بالكلية وأيضا قد يكون هذا الضغط صغيرا قدر ما يراد من غير أن تتغير النسبة فإذا لم تتحرك النقالة إلا حين بلوغ مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى كانت النسبة عند استخراج تأثير الالتصاق هكذا

٩١٠ : ١٠٠ في الانضغاطات الصغيرة

٩٩٠ : ١٠٠ في الانضغاطات الكبيرة

وإذا حصل الدهن بزييت الزيتون عوضا عن الشحم بلغت مقاومة الاحتكاك نهايتها الكبرى من مبداء الأمر تقريبا وكانت مساوية لـ الضغط وربما تغيرت من  $\frac{1}{4}$  إلى  $\frac{1}{7}$  إذا استعمل في الدهن شحم الخنزير القديم فعلى ذلك يكون الشحم الجديد أعظم نفعا في صورة ما إذا كان الاحتكاك بين النحاس والحديد

ولا يكفي في الظفر بالمقاومة الحاصلة لتحرك جسم حين استقراره على سطح مجرد معرفة القوة اللازمة لذلك بل لا بد أيضا من معرفة الكيفية التي تتغير بها المقاومة على حسب ما يكون للجسم من السرعة الكبيرة ثم إن الآلة التي سبق ذكرها هي المستعملة في ذلك دائما غير أن رمانة القبان (شكل ٢) التي الغرض منها أن يكون للجسم في التحرك أقصى درجة تسبيل بالحبل والكتلة (شكل ١) الحاملة أثقالا بواسطة يكون للجسم سرعة هائلة فيحصل الاحتكاك مع الجفاف بدون دهن وتحرك النقالة على لوح الاختبار بما تحمله تدريجيا من



الاتقال التي يحدث منها هذه النقلة سرعة تكبر شيئاً فشيئاً  
وإذا كانت النقلة موضوعة على لوح الاختبار وحاملة لثقل يطلب معرفة  
تأثيره فالتأثير على الكفة بالتوالي اتسالا متنوعاً ثم تحرك النقلة نارة بدق  
المطرقة دقائق خفيفة ونارة بدفع النقلة من خلفها بواسطة رافعة ويوجد  
في أحد أطراف لوح الاختبار الطولية تقاسيم مضبوطة بحيث تدل نهاية  
النقلة عند قطع هذه التقاسيم على المسافات المقطوعة وبالجملة فتقدر  
مدة التحرك كـ كيفية ترجع على غيرها في التجارب القليلة الضبط المراد  
علمها وهي كيفية البندول الذي تمكث كل رجة من رجائه نصف ثانية  
ويلزم ملاحظة القوة التي لا بد منها في مبدئ تحركه النقلة ثم تستعمل في أثناء ذلك  
قوة متوسطة وفي الآخر تستعمل قوة كبيرة ويلزم أيضاً ملاحظة الزمن الذي  
لا بد منه في قطع النقلة مسافتين قدرهما ٦٦ سنتيمتر

والزمن الذي تستغرقه النقلة في قطع المسافة الاولى هو على العموم ضعف  
 الزمن الذي تستغرقه في قطع المسافة الثانية تقر يا غير أن الجسم المتحرك بقوة  
 مجله ثابتة الذي يقطع مسافتين متساويتين على التعاقب يستغرق تحركه ازمنا  
 تكون نسبتها الى بعضها ::  $\sqrt{10000} : \sqrt{20000}$  فتستغرق  
 النقلة حينئذ ١٠٠ وحدة من الزمن في قطع الجزء الاول من المسافة  
 و ١٤٢ وحدة ايضا من الزمن المعتبر لقطع الجزء الاول مع الثاني فلا يزيد  
 زمنه على الاول الا ٤٢ وحدة

فعلى ذلك يكون تحركه النفاذ الناشئ عن القوة المعجلة الثابتة وهى قوة تشاقل  
الاتقال منتظم الجمله وذلك يستلزم أن مقاومات الاحتكاك لا تعدم فى كل وقت  
الأكية مناسبة من القوة التى يزيد بها التشاقل فاذا ن تكون مقاومة الاحتكاك  
كثيرة ثابتة مهما كانت سرعة الاجسام الخمسة

ومع ذلك اذا كانت السطوح المتحاسة كبيرة فان الاحتكاك يزداد بازدياد السرعة وبالعكس بمعنى انه اذا كانت السطوح المتحاسة صغيرة فان الاحتكاك ينقص قليلا بانتقاص السرعة ايضا غير أن ما بين هاتين الصورتين من

الاختلاف لا يغير شيئاً في جودة النتيجة التي ذكرناها في اغلب العمليات وقد عين كلب بحسابات وان كانت مختصرة على قدر الكفاية الا انه يطول بيانها هنا ما بين الانضغاطات والاحتكاكات الحادثة عنها من النسب في التجارب الستة الآتية التي تتنوع فيها السرعة بحيث تفوق ما يحصل في العمليات من الانضغاطات العظيمة وهالك بيان ذلك احتكاك واقع على سطح يبلغ امتداده ١٠٠٥ ستمتر مربع يحمل بهذه المثابة الآتية

نسبة	ضغط	محربة
٥,٧	٢٥ كيلو غراما	تجربة اولى
٩,٤	١٨٨	تجربة ثانية
٩,٥	٢٩١	تجربة ثالثة
٩,٤	٨٢٥	تجربة رابعة
٩,٢	١٧٨٨	تجربة خامسة
١٠,٤	٦٥٨٨	تجربة سادسة

وفي هذه التجارب يكون اتجاه عروق خشب بلوط النقاله هو عين اتجاه عروق خشب لوح الاختبار ثم توجه عروق خشب النقاله اتجاهها عوديا على عروق خشب لوح الاختبار ومن وقتئذ لا يحصل في نسبة الانضغاط الى الاحتكاك الا تغير قليل جدا سواء كانت السطوح المتماسمة متسعة او كانت قضباناً ضيقة كحدود السكاكين الغليظة وقد اورد كلب في ايضاح هذا التغير عبارتي قديعة لا بأس ببارادها هنا فنقول

اذا كانت القواعد المصنوعة على صورة خابور والمثبتة باسفل النقاله تتزحلق على عروق الخشب فان نقط لوح الاختبار تصل الى اطراف القواعد فتبقى هنالك مضغوطة حتى تقطع النقاله مسافة بقدر طولها وحيث ان طول النقاله ٤ دسمترات فاذا كان التحرك مثلاً ٤ دسمترات في كل ثانية فان كل قطعة من نقط اللوح تضغط مدة ٤ ثوان وحيثئذ يحدث عن عدم تساوى السطوح

الناشي عن التصاقها ببعضها مقاومة بها بتغير الصورة التي تكون لها عند الانضغاط ومع ذلك فالمدة المذكورة التي هي ٤ ثوان تكفي في تغيير صورة تلك السطوح ونحن جزء منها على ذلك اذا كانت النقلة المستندة الى زوايا مستديرة تتزحلق على عروق الخشب فان الاحتكاك يصغر بالمناسبة في الانضغاطات الكبيرة والصغيرة واما اذا كانت هذه القواعد المصنوعة على صورة خابور موضوعة في طرف النقلة فان كل نقطة من نقط لوح الاختبار عند تحرك النقلة لا تكون مدة انضغاطها الا بقدر مرورها على الزاوية وهذه المدة ليست طويلة بحيث تكفي في تغيير عدم التساوي تغيره بينا في اذن أن يكون الاحتكاك في هذه الصورة كالاحتكاك في صورة ما اذا كان امتداد السطوح متناهيًا وحيث أنه في كاتا الصورتين لا تتغير صورة عدم التساوي الا بكمية يسيرة فان عدم التساوي المذكور يكون متداخلا في بعضه بدون مانع وجميع ما سلفناه من النتائج انما هو في صورة احتكاك البلوط على البلوط واما في صورة احتكاك الراتنج على الراتنج والدردار على الدردار فان نسبة الضغط الى الاحتكاك تكون على هذا الوجه

راتنج على راتنج ٦ : ١

دردار على دردار ١٠ : ١

وفي صورة مماسة الاخشاب للمعادن يكون الاختلاف اظهر مما في صورة مماسة الاخشاب للاخشاب

فيثبت من مبدء الامر باسفل النقلة قواعد من حديد معدة للاحتكاك على لوح الاختبار المتخذ من البلوط وايا ما كان الضغط بالنسبة الى السرعة الهينة يكون الاحتكاك على الثلث من هذا الضغط تقريبا وتكون نسبة ضغط النقلة الى القوة التي تسيرها في كل ثانية خطوة كنسبة ٦ : ١ وهذا الفرق العظيم الواقع في النسبة لا يحصل عند ازدياد السرعة في السطوح الصغيرة المتماثلة تضعفها افعال كبيرة ولا في الاخشاب المصنوعة ويكاد يطل تأثير السرعة في الاحتكاك اذا مضى بعد الاحتكاك عدة ساعات

وفي جميع التجارب الا في ذكرها تكون الاجسام المتماسكة مغمورة بالدهن  
والذي يلايم تقيص احتكاك الاخشاب من الالدهان هو الشحم ودهن الخنزير  
القديم واما الزيت فلا يستعمل الا في المعادن ولما كانت الالدهان من الاجسام  
الليينة الرخوة كان تلطيفها لاحتكاك السطوح انما هو بلاء تجاوب  
تلك السطوح بالالدهان المذكورة وتوسيطها بينها وجعلها على بعد واحد  
من بعضها وهذا هو السبب في أن الالدهان الشديدة الرخوة تكون دائماً رديئة  
جداً بالنسبة للانضغاطات العظيمة فاذا كانت السطوح المتماسكة زوايا  
مستديرة قصت الالدهان احتكاك النقالة قليلا واذا مررت النقالة التي لها  
سطح تماس كبير مرتين او ثلاثا على شحم واحد شوهد أن هذا الشحم ينطبق  
على اللوح ويدخل في مسام الخشب ولا يقاوم تعشق الاجزاء ببعضها المقاومة  
واهية وقد ازداد الاحتكاك ازيدا اعطيا في عدة تجارب تكرار استعمالها  
بدون تجديد دهن ولنذكر لك هنا قبل أن نتكلم على التجارب الحاصلة  
في صورة دهن الاخشاب في كل مرة السبب الذي ينشأ عنه غالباً عدم ضبط  
النتائج فنقول

اذا تم الصانع عمل لوح الاختبار والنقالة واهتم كل الاهتمام بتحسين سطوحهما  
وصقلها بالفارة الكبيرة اوراق السمك او بزحلقتهما على بعضهما عدة مرات  
وهما جافان فاستمع ذلك نرى عند دهن السطوح انه ينشأ عنها في الاحتكاك  
مقدار كبير من عدم التساوي يعظم بقدر كبر امتداد السطوح وصغر الضغط  
وبه يزداد الاحتكاك ازيدا ظاهرا بالنسبة لازدياد السرعة وليس لهذا  
الاختلاف قواعد صحيحة تضبطه ولا براهين نظرية تحققة غير أن النقالة  
اذا ترحلت بمعاونة الدهن بالشحم او دهن الخنزير القديم عدة ايام متوالية  
وكان عليها انقال جسيمة كان الاحتكاك دائماً مناسباً للضغط تقريبا وبذلك  
لا تزيد النسبة بزيادة السرعة الا زيادة هينة

ولاجل تعيين تأثير الدهن بالشحم الذي يتجدد في كل تجربة من التجارب  
الآتية في احتكاك البلوط على البلوط نستعمل النقالة التي استعملت

منذ ثمانية أيام في التجارب الحاصلة في شأن الاحتكاك وقد جرب الدهن  
بالشحم المتجدد في أغلب المرات أكثر من مائتي مرة وكان الواقع على كل دسيترا  
مربع ضغط عدة فئاظير

فظهر في المحسن الاولى من تلك التجارب اختلال عظيم وكان ما بعدهادونها  
في الصبط وكان كل من النقالة ولوح الاحتبار يظهر أنه قد بلغ الغاية في الصقل  
الذي يقبله خشب البلوط وهالك نتيجة التجارب الستة التي عملت في شأن  
سطح تماس يبلغ امتداده ١٢ دسيترا مربعا

$$\text{تجربة اولى} \quad 27,6 = \frac{3200}{110} = \frac{\text{ضغط}}{\text{احتكاك}}$$

$$\text{تجربة ثانية} \quad 50,8 = \frac{1600}{74} =$$

$$\text{تجربة ثالثة} \quad 23,6 = \frac{100}{36} =$$

$$\text{تجربة رابعة} \quad 21,0 = \frac{400}{21} =$$

$$\text{تجربة خامسة} \quad 18,0 = \frac{200}{13,0} =$$

$$\text{تجربة سادسة} \quad 7,7 = \frac{0}{7,0} =$$

والنتيجة هنا مشكلة من وجهين احدهما المقاومة الثابتة الناشئة  
عن التصاق اجزاء الشحم ببعضها واستداد السطوح والثاني المقاومة الناشئة  
عن مجرد الاحتكاك فاذا طرحنا هذه الكمية الثابتة حدث

$$٢٨,٧ = \frac{٣٢٥٠}{١١٣} = \frac{\text{ضغط}}{\text{احتكاك}} \quad \text{تجربة أولى}$$

$$٢٧,٩ = \frac{١٦٥٠}{٥٩} = \quad \text{تجربة ثانية}$$

$$٢٧,٤ = \frac{٨٥٠}{٣١} = \quad \text{تجربة ثالثة}$$

$$٢٨,١ = \frac{٤٥٠}{١٦} = \quad \text{تجربة رابعة}$$

$$٢٩,٤ = \frac{٢٥٠}{٨,٥} = \quad \text{تجربة خامسة}$$

$$٢٨,٦ = \frac{٥٠}{١,٧٥} = \quad \text{تجربة سادسة}$$

وما ذكرناه من التفاصيل يكفي في بيان حكمة تجارب كلب المتوالية التي عملها في شأن احتكاك عدة انواع من الخشب على بعضها واحتكاك اخشاب على معادن واحتكاك المعادن على معادن مدهونة وذلك لايخرج عن الصور الاتية وهي

اولا أن يحدث عن احتكاك الاخشاب المترحلة على بعضها وهي جافة بعد استقرارها مدة كافية مقاومة مناسبة للانضغاطات تزيد في مبادئ الاستقرار زيادة بينة الا انها تصل في العادة بعد مضي بعض دقائق الى حذها ونهايتها الكبرى

وثانيا اذا كانت الاخشاب تتزحلق على بعضها بسرعة ما وهي جافة فان الاحتكاك يكون ايضا مناسباً للانضغاطات الا ان شدته تكون دون المقاومة الحاصلة عند الاجتهاد في فصل السطوح عن بعضها بعد مضي بعض دقائق من الاستقرار فتكون مثلان نسبة القوة اللازمة لفصل سطحين من البلوط وتزحلقهما على بعضهما بعد مضي بعض دقائق من الاستقرار الى القوة اللازمة للظفر بالاحتكاك عند اكساف السطوح درجة ما من السرعة

كنسبة ٩٥ : ٢٢,٢ او ١٠٠ : ٢٣

وثالثاً أن يكون احتكاك المعادن المتزحلقة على المعادن بدون دهن مناسباً  
ايضاً للانضغاطات الا أن شدته لا تختلف سواء كان المطلوب فصل السطوح  
عن بعضها بعد مضي زمن ما من الاستقرار او كان المطلوب بقاء اى سرعة  
منتظمة

ورابعاً أن تكون نتائج احتكاك السطوح المختلفة كالأخشاب والمعادن  
المتزحلقة على بعضها بدون دهن مخالفة بالكلية للنتائج المتقدمة لان شدة  
احتكاك تلك السطوح بالنظر الى زمن الاستقرار تزداد مع البطء ولا تصل  
الى حدتها الا بعد مضي اربعة ايام او خمسة وربما زادت على ذلك لكنها في المعادن  
تصل اليه بعد مدة من الزمن وفي الأخشاب بعد مضي بعض دقائق وهذا  
الازدياد يكون ايضاً بطياً بقدر ما تكون مقاومة الاحتكاك في السرعة غير  
البينة مساوية تقريباً للمقاومة التي يمكن مجاورتها عند ارتجاج السطوح  
او اتصالها عن بعضها بعد مضي ثلاث ثوان او اربعة من الاستقرار وليس ذلك  
عاماً في جميع الصور فان السرعة في الأخشاب المتزحلقة على بعضها بدون دهن  
وكذلك في المعادن المتزحلقة على بعضها لا تؤثر في الاحتكاك الا تأثيراً هيناً  
ولكن الاحتكاك هنا يزداد زيادة بينة بازدياد السرعة وبالجملة فالاحتكاك  
يزداد على وجه التقريب الحسابي بازدياد السرعة على وجه التقريب  
الهندسي ولذا ذكرنا قضية كلب النظرية فنقول

لا يتأني الاحتكاك الا من اشتباك خشونة السطوح ببعضها ولا يؤثر  
فيها الالتصاق الا تأثيراً هيناً لان الاحتكاك في سائر الاحوال مناسب  
تقريباً للانضغاطات ولا علاقة له بامتداد السطوح وحينئذ يكون  
الالتصاق بالضرورة مؤثراً على حسب عدد نقاط التماس وعلى حسب امتداد  
السطوح ومع ذلك فلما ان هذا الالتصاق ليس معدوماً بالكلية  
بذلنا الجهد في تعيينه بالتجارب السابقة المتنوعة فوجدناه يساوي نحو  
٨ كيلوغرامات في كل متر مربع من سطوح البلوط غير المدهونة ولكن يمكن

في العمليات اجمال المقاومة الحاصلة من هذا الالتصاق كلما كثرت الكيلوغرامات على المتر المربع

وليت السطوح في اذكر من العمليات همتغيرة عن اصلها بالدهن فعلى ذلك لا يمكن أن تتغير الحوادث الا تغيرا لا يمتنه في طبيعة الاجزاء التي تتركب منها الاخشاب والمعادن وذلك لان الاخشاب مركبة من الياف ممتدة واجراء ليننة مرنة والمعادن بعكسها فهي مركبة من اجزاء متزوية كروية صلبة غير قابلة للانثناء بحيث لا يمكن للضغط والجذب ولو بلغا اقصى الدرجات ان يغيرا صورة الاجزاء المتركة منها سطح تلك المعادن واما الالياف المتنوعة التي يتركب منها الخشب فيسهل انشاؤها في سائر الجهات

ولاجل تقريبات ما ذكر نقول ان الالياف التي تستر سطح الاخشاب تتداخل في بعضها كشعور الفرشتين عند ملاقاتهما

فاذا اريد تحصيل درجة الجذب الذي لا يمتنه في زحلقة احدي الفرشتين على الاخرى لزم اختبار وضع الشعور في الزمن الذي يلزم فيه الاجتهاد في فصل الفرشتين عن بعضهما بعد مضي مدة من الاستقرار وكذلك يلزم اختبار ما تكون عليه الشعور من الوضع المخالف متى كان لكل من الفرشتين عند ترزحهما على بعضهما تحرك اياتا كان

فلو وضعت حيثئذ خشبية جيدة الصقل على اخرى تداخلت الالياف التي على السطوح في بعضها بدون مانع

فاذا اريد الآن زحلقة الخشبية العليا على السفلى فان ألياف هذين السطحين تنشق على بعضها حتى تماس بدون تعشق ومتى وصلت الالياف المتماسمة الى هذا الوضع لم يأت ميلها اكثر من ذلك وتكون زاوية ميلها المتعلقة بسمك الالياف واحدة في جميع درجات الضغط فعلى ذلك لا بد في جميع درجات الضغط من قوة تناسبه حتى لا تعشق الالياف التي ترزح على بعضها بحسب زاوية هذا الميل

ولكن اذا انفصلت النقالة واستمرت على الترزح انعدم تعشق الالياف



وبانعدامه يتخلل الالياف المتجاورة من سطح واحد فراغ قميل تلك الالياف على بعضها حتى تتماس وبناء على ذلك تكون زاوية ميلها اعظم من المتقدمة الآن هذا الميل يكون واحدا في سائر درجات الضغط فعلى ذلك يلزم في السطوح المتحركة أن يكون الاحتكاك مناسبا للانضغاطات ولا يحصل تغير في هذه القاعدة الا اذا آلت السطوح المتماسية الى اصغر ابعادها لانه اذا وقع على الاجزاء الداخلة من السطوح تأثير انضغاطات عظيمة ممكن ميل الالياف ايضا وقد وجدنا ذلك في النقالة الموضوعة على زاويتين مستديرتين من البلوط عند ترزحها على عروق الخشب

وبالقاعدة المذكورة يسهل ايضاح هذه الملاحظة وهي انه متى ترزحقت قواعد البلوط الحاملة للنقالة في جهة طولها وانضغطت نقط لوح الاختبار الثابت الموضوعة تحت هذه القواعد في المدة التي تستغرقها النقالة في قطع طولها كان هذا الزمن كافيا في ارتقاء السطوح وميل الالياف ميلا كثيرا بحيث تكون اطرافها متماسة لكن اذا كانت الزوايا الحاملة للنقالة موضوعة في طرف النقالة ومارة منها فان نقط تماس الالياف مع لوح الاختبار الثابت لا تبعد زمنا ترتخي فيه بكيفية محسوسة لعدم وقوع تأثير الانضغاط عليها الا في مدة يسيرة وتكون نسبة الضغط الى الاحتكاك واحدة في سائر الانضغاطات كبيرة كانت او صغيرة

وليست المعادن مركبة من الالياف ولا من اجزاء لينه ولا يتغير وضع تجويف شكلها على اى حالة كانت فعلى ذلك اذا كانت النقالة متحركة او ساكنة فان شدة الاحتكاك تكون واحدة دائما لان لها تعلقا بصورة العناصر المادية التي تتركب منها السطوح ويميل المستوى المماس في نقط التماس فاذا ترزحقت الاخشاب على المعادن دخلت ألياف الخشب المرنة في التجويفات وحيث ان تلك الالياف لينه مرنة كان دخولها في التجويفات المذكورة تدريجيا فعلى ذلك تزداد مقاومة الاحتكاك كلما طال زمن الاستقرار الذي يعقب الجهد المبذول لاجل ترزح السطوح على بعضها ولكن اذا فرضنا

أن النقالة متحركة فان صورة الالياف التي تستر سطوح الخشب ترتقي عند ملاقاتها لخشونة المعدن لتجتاز رؤس هذه الخشونات وهذا اللين ضروري لا بد منه حتى تكون مقاومة مرونة الالياف مناسبة للضغط فيكون حينئذ الاحتكاك في السرعة الغير اللينة مناسباً ايضاً للضغط كما دلت على ذلك التجربة فاذا تحركت النقالة بسرعة ما غيبت ان تجويفات سطح المعدن متسعة بالنسبة لسماك اليااف الخشب فان هذه الالياف بعد مرورها على خشونات السطوح المعدنية يرتفع جزء منها على صورة جلة من اليااف فيلزم اذن انشاؤها اثناء جديد احتى تجتاز ما بقي من الخشونات ويكثر انشاؤها كلما عظمت السرعة فاذا نيزداد الاحتكاك بموجب قانون السرعة ولكن مع ذلك كلما اخذت السرعة في الازدياد يكون انشاء الالياف على شكل زاوية صغيرة لان تلك الالياف عند مرورها من خشونة الى اخرى لا تجد زمناً تستقيم فيه استقامة تامة

ولما كانت سطوح التماس في احتكاك الاخشاب والمعادن المدهونة بالشحم على بعضها عبارة عن زوايا مستديرة لم يكن للسرعة تأثير في الاحتكاك عند تزلزل القواعد على عروق الخشب ومثل هذا الاحتكاك يترأى منه أن الشحم يلصق اليااف الخشب ببعضها ويزيل جزءاً من مرونتها ولذا ذكر هنا ملحوظة مهمة لا بد منها في هذا الموضوع فنقول لما ادار كلب بكرة من خشب الانبياء على محور من الحديد ليس به دهن وجد الاحتكاك في طرف العشرين دقيقة الاولى يزداد بازدياد السرعة بموجب قوانين كقوانين الاخشاب والحديد المقررة في تحرك النقالة وذلك لان البكرة في هذه الصورة جديدة ومع ذلك فبعد استغراق الاحتكاك المتواصل بالنظر الى سرعة الدوران مدة ساعتين ينعدم من الالياف معظم مرونتها ويكاد الاحتكاك أن لا يزداد بازدياد السرعة ومثل ذلك ينشأ بسرعة عند دهن المحور بالشحم فانه بعد أن يستغرق تحرك الدوران دقيقة بالنسبة الى ضغط قدره ٦٠٠ رطل يكون احتكاك البكرة المتخذة من خشب الانبياء الموضوعة على محور

من الحديد مدهون بالنهم واحدا دائما ويكون لها درجة ما من السرعة  
واذا قابلنا بين مقاومة احتكاك جسم له ثقل مقروض يسير الى جهة الامام  
وهو مستند على جسم آخر خال عن الدوران وبين المقاومة الحادثة من الجسم  
الاول الذي يدور على الثاني وجدنا هذه المقاومة الاخيرة دون الاولى بكثير \*  
مثلا اذا دحرجنا الخشب على الخشب كانت نسبة المقاومة الى الضغط بالنظر  
الى ملف صغير كنسبة ١٠٠ الى ١٦ او ١٨ وبالنظر الى ملف  
كبير كنسبة ١٠٠ الى ٦ فاذا حصل التزحلق بدون أن ندحرج  
الخشب على الخشب تغيرت النسبة وصارت من ١٠٠٠ الى ٢٠٠  
او من ١٠٠٠ الى ٣٠٠ على حسب جنس الخشب فعلى ذلك اذا  
دحرجنا جسما مستديرا على جسم مستوي بدلا عن سحبه بدون دوران زاد  
مقدار النسبة في ذلك من ١٢ الى ٢٠

وبما ذكرناه يكون استعمال النقل في اشغال الصناعة هو الاولى والاحسن  
فاذا فرضنا أن عربة ثقلها ١٠٠٠ كيلوغرام يحملها بعجلتان فان كانتا  
مثبتتين في المحور واحتكاكا على ارض ذات احاديث من الخشب ولم يكن فيهما  
قضبان معدنية فان مقاومة الاحتكاك تبلغ ٢٠٠ كيلوغرام واذا كانت  
البحلة لا تدور الا بالصعوبة فان مقدار هذه المقاومة يتغير فورا ولا يبلغ الا ٦  
كيلوغرامات فما دونها فاذا فرضنا حينئذ أن المحور له قطر يساوي واحدا  
من خمسين من قطر البحلة فان تلك البحلة متى دارت دورا كاملا كانت كل نقطة  
من قط بيت المحور المماس له تقطع سطحا اقصر من محيط البحلة خمسين مرة فعلى  
ذلك تكون سرعة هذا البيت عند احتكاكه على سطح ذلك المحور مساوية  
لواحد من خمسين من سرعة البحلة بالنسبة الى النقطة المماسية للارض وحيث  
لم يكن ثم مانع فاحتكاك البحلة على المحور يساوي واحدا من خمسين من  
احتكاكها لو استعملنا بدل العربة ثقالة وزحلقتها على الحديد ومن هنا يعلم  
ما يتقصه النقل من مقاومة الاحتكاك لاسيما اذا تعشق بيت المحور جلب من  
النحاس لاجل تلطيف احتكاكها على حديد المحور فم يبق علينا حينئذ في القطر

بالمقاومات الظاهرة الامقاومة خشونة الارض والتصاقها بمحيط العجلة وهذه  
المقاومة تنقص تقصا بدينا باستعمال سلك الحديد

فاذا كان المطلوب قتل احوال ثقيلة لتوضع على العربات فان العتالين يرحلقونها  
على ملقات او اكر (شكل ٨)

وقد شاهدنا في بلاد ايقوسيا انهم يرفعون السفن من البحر على مستوماثل  
فيضعونها على نوع من العربات له عجلات صغيرة تجرى على سكة من الحديد  
وبهذه الطريقة لا يحتاج في رفع السفن الثقيلة من البحر الى كثير من الناس  
بل يكفي القليل منهم وقد سبق لك ذكر الكيفيات التي وصلت بها الصناعة الى  
تقيص مقاومات الاحتكاك وهناك احوال بعكس هذه الكيفيات تزداد بها  
تلك المقاومات بقدر الامكان مثلا اذا اتقلت العربات من سكة اخفية الى سكة  
منحدرة جدا لزم منعها عن أن تأخذ في سرعة معجلة تكون عاقبتها خطرة وذلك  
يحصل باحد امرين اما أن تمنع العجلات عن الدوران واما أن تخطى على  
احتكاكها على الارض الا أن مقاومة الاحتكاك الحاصلة للعجلات في هذه  
الصورة تبرى قضبانها في اسرع وقت وتجعلها غير صالحة للاستعمال ويمكن

تدارك هذا الضرر بواسطة زمام معد في كزمام ص (شكل ٩) يتعشق بمحيط  
العجلة ويتوسط بينهما وبين الارض ويكون ممسكا بسلسلة مثبتة في مقدم العربة  
وهذه الطريقة لا تخلو عن الضرر ايضا وذلك انه اذا لم تكن الارض مستوية  
استواء تاما بأن كان فيها شقوق او اجار عظيمة المسافة فلا مانع من أن العجلة  
تنفلت من الزمام فيؤدي ذلك الى اشتداد الخطر

والاولى في منع الضرر ان نستعمل قوس دائرة من خشب او معدن بأن نضعه  
خلف احدى العجلات الكبيرة (شكل ١٠) على وجه بحيث يمكن تقريبه  
من هذه العجلة بواسطة بريمة الضغط فاذا ازداد هذا الضغط نشأ عنه مقاومة  
احتكاك تناسبه ثم ينعدم تحرك العجلة بعد مدة يسيرة وهذه الكيفية التي لا مانع  
من تحسينها وتلطيفها وتقويتها وزيادتها عند الاقتضاء ترجح على غيرها في عدة  
امور وهي الآن مستعملة في عربات النقل وغيرها من سائر انواع العربات

ومن المهم في الآلات الكبيرة لاسيما طواحين الهواء منعها عن سرعة السير  
او تلطيف ذلك بقدر ما يراد ان لم يمكن المنع المذكور وذلك لا يحصل الا بواسطة  
زمام كزمام **ابث** (شكل ١١) والمراد بالزمام هنا قوس دائرة كبير  
من خشب محاط من خارجه بفضيب من حديد وأحد طرفيه ثابت والاخر  
ملصوق بذراع رافعة صغير فاذا وقع على الذراع الكبير من هذه الرافعة تأثير قوة  
فان هذا الزمام يجبر على القرب من العجلة الكبيرة وبذلك تشترك مع الآلة  
في التمرك وتضغط هذه العجلة ضغطا كبيرا جدا فتكون مقاومة هذا الضغط  
كافية في تحصيل التأثير المطلوب واذا تأملت تجارب كلب في سائر  
احوالها عرفت في اى ضغط فرضته مقاومات احتكاك الازمة التي يراد  
استعمالها

ومن الآلات التي يرجح فيها الزمام على غيره الجرو اى العيار اذ بدون ذلك  
لا يمكن للشغالة الظفر تلك الآلة على الحمل المطلوب رفعه الا بيزل مجهودات  
تكني في ذلك والانتحرت تحت كاهقهقربا بسرعة بحيث يترتب على ذلك عوارض  
عظيمة واطار جسيمة ويرجح استعمال الزمام ايضا في الطارات الكبيرة  
المستديرة كما سبق بيانه في طواحين الهواء لان التأثير الحادث عنه يمنع من  
وقوع الضرر بالكلية

ويوجد بمدينة لندرة مخازن يقال لها مخازن الدول بها منجنونات فيها مثل  
هذا الزمام وهى معدة لادخال البضائع في تلك المخازن واخراجها منها فاذا اريد  
تنزيل هذه البضائع من المنجنونات اقلنت منويلا تهادفعة واحدة فيهبط الحمل  
بالسرعة الناشئة له عن تناقله ويكون احد مهرة الشغالين قابضا يده على  
الذراع الكبير من الرافعة الواقعة تأثيرها على الزمام المذكور وينتظر الحمل الهابط  
حتى يبقى بينه وبين الارض او العربة التي يلزم وضعه عليها اقل من متر فعند ذلك  
يتكى على الرافعة دفعة واحدة فيقف الحمل حيث تدوقوقا وقتيا

\*(الدرس الرابع عشر)\*

\*(في بيان الضغط والشد والمرونة على العموم)\*

قد اختبرنا فيما سبق تأثير القوى في الاجسام من حيث انكماشها ومدتها مع فرض ثبوت ابعادها وهو فرض عن الحقيقة بمعزل فان اغلب الاجسام التي يقع عليها تأثير القوى لاجل انكماشها يتقص بعدد في الجهة التي يحصل فيها الانكماش

والمقصود لنا هنا بيان ما بين الاجسام المتنوعة من الميائات الكلية فنقول هنالك بعض اجسام يظهر أنها تتأثر بأدنى ضغط بدون مقاومة وتبقى بعد الانضغاط على الابعاد التي تحدث لها من الضغط وهذه هي الاجسام الرخوة وهنالك اجسام اخرى تتأثر ايضا بالضغط مع السهولة الا أنها بمجرد انقطاع تأثير القوة الضاغطة تأخذ الابعاد التي تناقصت بتأثير هذه القوة في الازدياد حتى تقرب من الابعاد الاصلية كثيرا او قليلا وهذه الاجسام التي ثبتت لها هذه الخاصية هي الاجسام المرنة

ولا تكون الاجسام تامة المرونة الا اذا عادت الى ابعادها الاصلية بالسرعة التي انعدمت منها حين الضغط ولكن ليس هنالك من الاجسام التي على اصل الطبيعة ما هو بهذه المثابة

واذا ضغط الجسم اول مرة خلى ونفسه بأن يبطل تأثير القوة الضاغطة ليعود الى ابعاده الاصلية بقدر الامكان فان عادت هذه القوة الى التأثير ضغط الجسم ثانياً ضغطاً اشد في العادة من ضغط المرة الاولى واذا بطل تأثير القوة الضاغطة عاد في العادة الى ابعاده الاصلية لكن لا كل مرة الاولى بل دون ذلك فعلى هذا تتناقص مرونة الاجسام شيئاً فشيئاً بكثر تأثير القوى الضاغطة ومع ذلك فكثير من الاجسام لا ينعدم من مرونته في كل مرة الاجزاء غير محسوس ومثل هذه الاجسام يقبل الاستعمال زمناً طويلاً مع ما يقع عليه من كثرة تأثير القوى الضاغطة الذي يوجد تارة وينعدم اخرى

ويكثر في الصناعة استعمال الاجسام المرنة القابلة للانضغاط لاجل توزيع الضغوط المشتركة توزيعاً بالسوية بواسطة القوة التي لا تؤثر الا على اتجاه مستقيم واحد فاذا كان المطلوب مثلاً أن تنقل على فرخ من الورق او على قطعة

من القماش نقشا موجودا على لوح معدني فالتا نضع على القرخ او القماش  
جسما مرنا قابلا للانضغاط ونضع فرخا آخر على اللوح المعدني ثم نضع فوق  
الجميع جسما صلبا مستويا يقع عليه تأثير القوة في نقطة واحدة او اكثر وبقل  
هذه القوة على الجسم الصلب المذكور تضغط الاجزاء البارزة من الجسمين المرين  
على التوالي ويجرد ضغطها للاجزاء البارزة تتلاقى مع ما بقى من الاجزاء وتضغط  
معظمها بحيث يقع على جميع نقط السطح الذي تلاقى مع اللوح المعدني من جهة  
ومع فرخ الورق او قطعة القماش من جهة اخرى جزء من القوة الضاغطة يكنى  
في دخول القماش او الورق اللذين هما جسمان قابلان للانضغاط في تجويفات  
اللوح فيحدث من ذلك نقل النقش وطبعه

ويستعمل في كثير من القنون ما هو من قبيل تلك الاجسام المرنة او الرخوة التي  
تستعمل في توزيع الضغوط توزيعا منتظما والواقعت كلها على نقطة واحدة  
فتفتت الجسم المطلوب ضغطه او تغير صورته

فاذا كان المطلوب صقل اجسام معدنية او خرطها وكان سطح تلك الاجسام يلزم  
الاعتناء به بالكيفية فالتا نضع بين هذا السطح وفكي الكاشة جسما رخوا  
كالكشب والرماس والنحاس وما اشبه ذلك فيتوزع به الضغط على عدة  
من نقط سطح الجسم المطلوب صناعته وبهذه الكيفية لا يلحقه ادنى تلف

وفي حزم البضائع وشحوها مما يخشى على سطحه التلف يلزم تحويطها باجسام  
مرنة ولا ضرر بعد ذلك في ضم هذه البضائع الى بعضها بالحبال لان ضغط تلك  
الحبال حينئذ يكون موزعا على الاجسام القابلة للانضغاط المحيطة بها فيكون  
ما يصل من الضغط الى النقط المختلفة من الاجسام المحزومة على غاية من الخفة

وسياتى في الدرس المعقود لاصطدام الاجسام اختبار مثل هذه التأثيرات  
في الاجسام المرنة المعدة لتحويل التحركات السريعة او تلطيفها

واذا فرض أن قوتين يؤثران في جهتين متضادتين لاجل ابعاد اجزاء جسم  
عن بعضها فانهما يمدان ويزيدان كثيرا او قليلا بعد هذا الجسم في جهة  
المستقيم الذي يصل بين نقطتي وقوع القوتين المتجهتين الى جهتين متقابلتين

وهناك اجسام يقع عليها تأثير القوى التي يحصل بها الامتداد بدون احتياج الى عظيم جهد فاذا امتدت اول مرة لا تعود الى ابعادها الاصلية وهي الاجسام الرخوة وثم اجسام اخرى تعود الى ابعادها شيئاً فشيئاً حتى تصل الى حالتها الاصلية عند انقطاع تأثير القوى التي يحصل بها الامتداد وهي الاجسام المرونة وهناك اجسام اخرى ايضا ثبت لها هذه الخاصية وهي عودها الى ابعادها الاصلية سواء كانت متكسرة او معدودة وبالجملة فالاجسام منها ما يعود الى ابعادها الاصلية عوداً تاماً اذا انكسرت ولم يمتد ومنها ما يعود اليها اذا امتدت ولم ينكسر

ومن المهم جداً في سائر فروع الصناعة بالنسبة الى المواد الاولية التي لم تدخلها الصناعة والمواد التي دخلتها الصناعة وكذلك مادة خواص المرونة أن ينتخب دائماً لكل صنعة ما يلائمها من المواد ولا مانع من تعلم ذلك في سلك التجارب المضبوطة التي لم تعمل الى هنا الا في عدد قليل من الاجسام والاحوال التي لا يعتنى بشأنها كثيراً

وليس في الاوتار المتخذة من التيل والحريز والقطن ونحو ذلك ولا في السلوك المعدنية قابلية لمقاومة الضغط وذلك ناشئ عن صغر قطرها بالنسبة لطولها وانحلفها قابلية لمقاومة الشد كل منها على حسب درجته في القوة والمرونة وما فيها من المرونة يجعلها مستحسنة في اشغال الصناعة

مثلاً اذا كان المطلوب تحويل تحرك دوران من قرص الى آخر او من طنبور الى اخر فانه قوت من فوق حلق القرصين او على محيط الطنبورين حبلاً او سيرا يكون له في الشد درجة معلومة ونوزع الشد توزيعاً منتظماً على جميع قطع ذلك الحبل او السير فيقع تأثير الشد على كل من هذه النقط حتى يعود الحبل او السير الى بعده الاصلى ولا يتأثر ذلك الا اذا ضغط محيط القرص او الطنبور بالحبل او السير فاذا تحرك بعد ذلك احد القرصين او الطنبورين جذبت مقاومة الاحتكاك الحبل او السير على محيط القرص الاول او الطنبور الاول ويحدث من الضغط الواقع من الحبل او السير على القرص الثاني او الطنبور الثاني



البحث كانه يحول المحرك الى هذا القرص الثاني او الطنبور الثاني والاستعمال  
تتأخر المروية المضادة للشدود تتأخر تدريجيا فلذا كانت الجبال والسيور  
المستعملة وان كانت مقاومة دائما بواسطة مررتها لا تقاوم الاشياء فشيئا ولا تمتد  
الا بالتدريج ومثل ذلك يحمل الانسان على البحث عن الطرق التي يسلكها  
يجتنب هذا المدة (راجع الدرس الثالث من الجزء الاول)

فاذا كانت الاوتار ممدودة ومشدودة بالكلية وضرب على ما كان متغيرا من  
قطعها ثم خليت ونفسها فانها تتحرك تحركا متريدا كثيرا او قليلا يعرف بتحريك  
الاهتزاز فتشير عند ذلك التحرك ما يكتنفها من الهواء فيحدث الصوت واذا  
ازداد بالتدريج شدة الوتر علت بالضرورة الاصوات الحادة منه عند اهتزاز  
واثقلت بالتدريج من الرخو الى الحاد ويكون في هذه الاصوات المتكونة بهذه  
المناسبة ما يطرأ بالاسماع ويصلح لان يعد من ألحان الموسيقى وقد تعينت بالتجربة  
النسب الحاصلة بين شدود الوتر اعني الاتقان المستعملة في تحصيل الشدة الذي  
تحدث عنه ألحان الموسيقى فعلى ذلك يكون تعيين الألحان في الموسيقى نتيجة  
تجربة ميكانيكية

فاذا كان المستعمل وتر واحد وفرضنا له طولا فان الاصوات في هذه الحالة  
تكون رخوة بقدر كبر قطر الوتر وقد تعينت النسب الحاصلة بين ارتفاع  
الاصوات وقطر الاوتار المختلفة وصارت معلومة والالات ذات الاوتار  
عبارة عن عدة اوتار معدنية او متخذة من جلود الحيوانات متحدة الابعاد  
والاطوال بحيث ينشأ عنها بين حدود معلومة تقاسم ألحان الموسيقى وهي  
الاهوية والمقامات وقد اقتصرنا في تعيين استعمالها على ما سنذكره فنقول  
اذا قص طول الوتر الباقي على شدة الثابت فان الاصوات التي تحدث عنه  
تكون حادة مرفعة بخلاف صورة العكس وهي ما اذا زاد طوله فانها تكون  
رخوة

ودراسات الاتلات ذات الاوتار هي عبارة عن روافع الغرض منها ضغط نقطة  
ثابتة في بعض الاجزاء المتوسطة من الاوتار لاجل تقيص طولها فعلى هذا

يحدث بالتوالي في وتر واحد أصوات مرتفعة قليلا أو كثيرا وبذلك تزداد  
الآلات حسنا وجوده

ولما انهينا الكلام على مرونة الخيوط منفردة ناسب أن نشرع في الكلام  
على مرونتها مجتمعة فنقول ان الخيوط المستعملة في صناعة الاقشة تكون  
مرنة كثيرا او قليلا وبهذه المرونة تسهل صناعتها فعلى ذلك اذا لم تكن خيوط  
النسيج ممدودة بالسوية في وقت واحد ولم يمكن تغيير بعدها بدون انقطاع فان  
عدم تساويها الناشئ عن الابعاد او عن الحركات التي تقتضيها صناعة نسيج  
الاقشة يوجب انقطاعها ولو كان عدم تساويها المذكور خفيفا وهناك  
خيوط على العكس من الخيوط المذكورة حيث انها عند وقوع تأثير القوى  
عليها تمتد دفعة واحدة وتعود الى ابعادها الاصلية ولا يعرض لها انقطاع الا اذا  
طُرأت عليها عوارض على خلاف العادة

ثم ان الاقشة المعدة للباس اذا لم تكن منسوجة من خيوط مرنة لا يتكون منها  
الاسطوح منفردة بفرضا غير قابلة للتمد واسطوح لا تعود الى صورتها الاولى  
اصلا بفرضا رخوة بالكلية ولكن يمكن بواسطة المرونة أن يكون لبعض اجزاء  
تلك الاقشة انحناءات يكونان تارة في جهة واحدة وتارة في جهتين متقابلتين  
وربما كانا تابعين للين اعصاب الجسم البشري في سائر التحركات المختلفة  
الحادثة من الاعضاء ولما كان كل من حجم هذه الاعضاء وانحنائها يتغير سريعا  
لا سيما في المفاصل لم أن تكون الاقشة غير متعاضية على هذه التحركات وأن  
تعود فيما بعد الى صورتها الاصلية وذلك انما يحصل بواسطة مرونتها

وهناك بعض ملابس تحتاج في استنادها وضمها الى بعضها الى قوة معلومة  
لا تتجاوز حدها فاذا كان المستعمل لاجل حصول مثل هذه الانضغاطات نسيجا  
غير قابل للتمد تألم منه اللابس عند تحرك جسمه الذي تكاد تزيد به ابعاد هذا  
الملباس المحيط به فلهذا كانت احزمة النساء الافريقية والقفازات والجوارب  
وسائر اجزاء الملابس المباشرة بجلد الانسان مصنوعة من مواد مرنة ويمكن  
أن يدرك بالتألم الحاصل للارجل من النعال التي ليست مرونتها كافية ما ينشأ

من هذمانخاصية من المنفعة للنوع الانساني

وعوضا عن أن نستعمل خيوطا مستقيمة متوازية في تكوين السطوح المرونة التي ليس لها الاخاصية قبول كل خيط منها المدة تصنع نسيجا تكون فيه الخيوط على اتجاها منعطف ويكون لها طول اعظم من البعد المستقيم الذي بين اطرافها فان النسيج الذي بهذه المثابة يقبل المدة اكثر من النسيج الاعتيادي مع أن القوة فيها واحدة فاذا اقطع تأثير هذه القوة انضم النسيج الى بعضه بحيث تقطع نقطة المتعطف مسافة عظيمة وعلى هذا المنوال يصنع النسيج الجدول الذي يصير بواسطة الامتداد والانضغاط صالحا لخاصية تامة لسرايا الاعضاء الانسانية التي تتغير صورها وابعادها عند التحرك وهنالك تأثير يضاهي تأثير الجدل وهو الحادث من لف السلوك المعدنية لحازونيا لان هذه الحازونيات ينشأ عنها افراد عظيم جدا بين اطرافها بخلاف البعد المستقيم لهذه الاطراف فانه لا يتقرد فيلزم اذن أن القوة الواحدة سواء كانت معدة للضغط او المدة يحدث عنها امتداد وقبض اكبر مما لو كانت مؤثرة في خيط ممدود ومن هنا استعمال السلوك المعدنية المنتنبة أثناء حازونيا والاشنطة الافرنجية المرنة ويايات العربات وما اشبه ذلك في كثير من الآلات

ولما كانت الحبال عبارة عن خيوط منتنبة أثناء حازونيا كان لها بذلك درجة في المرونة تبين درجة مرونة الخيوط المبدودة مدام مستقيما وهذه المرونة تستحسن في الآلات لاسيما في ادوات السفن وموادها

وفي كائنات القرى والارياف اسطوانات طويلة من صفيج مدهون بلون البياض على صورة شموع كبيرة فتوضع فيها شموع اعتيادية ويوضع تحت تلك الشموع حازون طويل من سلك من الحديد او النحاس الاصفر فينضغط هذا الحازون انضغاطا كبيرا اذا كانت الشمعة بحالها لم يتقص منها شيء فاذا حرق منها جزء دفعها الحازون ورفعها الى اعلى بحيث تكون قسبتها دائما في نقطة واحدة على القاعدة العليا من الاسطوانة الطويلة التي هي على صورة الشمعة الكبيرة

وما اسلفناه من الكلام الى هنا انما هو في البعث عن تعيين المقاومة التي تكون للاخشاب قبل كسرها بالتأثير الواقع على أليافها عموديا او بضغط الاتصال المؤثرة في جهة هذه الاليف

ولاشك أنه يلزم الآن معرفة النهاية الكبرى لقوة الاخشاب حتى يتأتى أن نستعمل على الدوام في العمارات والآلات المركبة منها مواد تكون قوتها اعظم من الجهود التي تقاومها لكن يلزم دائما أن نجتنب في الاستعمال النهاية المذكورة ما أمكن وكذلك في صورة عمل الاشغال التي يراد طول مكثها بل يلزم اجتنابها اكثر من السابقة لان قوة الاخشاب تتناقص دائما بدول الزمن عليها الاسماء وهناك عوارض كثيرة تطرأ على الاخشاب فتتلفها وتغير اوصافها الاصلية

وثم امر آخر ليس دون المتقدم في النفع بل ربما كان نفعه اعظم وان كان على ما يظهر دون الاول في العمل به وهو البعث عن تعيين ما للاخشاب من المقاومات المتشابهة في صورة ما اذا وقع عليها تأثير قوى من شأنها انها تغير صورتها قليلا وتؤثر في مقاوماتها المتبهة .

وفي بناء العمارات وعمل الآلات والسفن يلاذ القرمح يفرض أن القطع الجسمية القليلة الجمل تبقى على الصورة التي رسمت عليها رسما مضبوطا وهذا فاسد لان القوى الصغيرة لها بعض تأثيرات طبيعية وان كانت لا تدركها حواسنا لصغر حاجتها ولكنهم مع ذلك تنضم الى بعضها فيحدث عنها نتائج ظاهرة جسمية ولندكر لك شاهدا على ذلك فنقول

لاشك أن اعظم عمارة يمكن عملها من الاخشاب هي السفينة والالمتنم في سلك الدونما القرمحية فاذا اريد انشاء سفينة من الدرجة الاولى في ترسانة فلابد أن تكون في الارتفاع اعلى من المنازل القرمحية العالية ولا بد ايضا أن تكون مما يحمل القفقر مع ما يلزم لهم من المؤونة مدة ستة شهور ومن المدافع بقدر ما يلزم للصن الخوف ويلزم ايضا أن تكون في الصلابة ملائمة لما تحمله من الاشياء المذكورة وقد اطلقنا هنا اسم الحاطين على جانيها المتخذين من الخشب لان

تلكه ما ان لم يرتد على سلك المحيطان الخارجة من المنازل القرصية العادية فلا  
من المساواة لها ولا يذ أن تكون روابطها وميادها على اختلاف انواعها  
محكمة الصناعة وكذلك ما فيها من النحاس والحديد المجدين لحفظ جميع اجزائها  
وامساكها فكل بعد هذه الوسائل المثينة والوضع المحكم يسع من اطلع عليها  
أن يشك في بقاء صورة تلك السفينة على حالتها الاصلية بدون تغيير ثم هو  
في الواقع محال لانها بعد انقضاء عملها ونزولها في البحر نشأ عن عدم تساوى  
التأثير الواقع من الاثقال التي باطرافها وعن دفع المياه المصادمة لها أن الاجراء  
تنحى في جميع طول السفينة فيصير مقعرا على شكل قوس بحيث لو فرضنا وزنا  
طوله ٦٠ مترا كان سهمه في بعض الاحيان نصف متر فاكثر

ولاريب أن مثل هذا التغيير يعد جسما اذ به لم يبق السفينة على حالتها الاصلية  
بل تغيرت تغيرا قويا في سائر صفاتها هذا وان اردت الوقوف على معرفة السهم  
الذى يبلغ وتر قوسه مترين عند عروض الانحناء المذكور وجدته اقل من  
عشرين مليمترا وهو مقدار قليل جدا بالنسبة لطول اقل احواله أنه يساوى  
اعظم قامة من قامات النوع الانساني

وقد كنت اقل من قصدى لتقدير هذا التغيير الغير البين الواقع في الاخشاب  
فقد رت اولا مقاومة هذه الاخشاب في جميع تغيراتها عند ظهور تأثير تلك  
المقاومة اعنى حين تتغير صورة الجسم قليلا بما يحمله من الاثقال ولا شك أنك  
ترى مع الفائدة أن ما ظهر بالتجارب الحاصلة في شأن كسر الاخشاب من  
القوانين وانواع الاختلال اعنى في صورة ما اذا تغيرت صورتها عن اصلها تغيرا  
عظيما ما يمكن ليس الا نتيجة لازمة للتغيرات الصغيرة جدا التي تبدو للناظر  
عند انحناء تلك الاخشاب قليلا

ولذلك هنا على سبيل الاجال ما ألفناه من المباحث في شأن لبن الاخشاب  
وقوتها ورويتها بواسطة التجارب التي حصلت في ترسانة قورسير سلطنة  
ميلادية وفي ترسانة تولون سلطنة ثم في ترسانة دوتكر في سنقي ١٨١٦  
و ١٨١٧ فنقول ان ما ألفناه في تجارب ترسانة قورسير مذكور في الجزء

العناصر من كتابنا المعروف بجزئال المهندسخانة واما الآلة التي استعملناها في تجارب ترسانة تولون فصورتها مرسومة في (شكل ٩) وصورة الآلة التي استعملناها في تجارب ترسانة قورسير مرسومة في (شكل ٢)

قبري في (شكل ٢) تازجة كبيرة مثبتة عليها مسندان احقيان في استواء واحد مسافة ما بينهما تبلغ مترين وما فيه من صور قطع اخشاب البيلوط او السرو او الزان او الزانج او الصنوبر مرسوم على شكل متوازيات السطوح

وهذه المتوازيات السطوح تزيد في الطول على مترين وهي موضوعة بالتدريج

على مسندى **ض و ض** المذكورين ويما يقاس اقصر بعد بينهما وهي بارزة قليلا من الجهتين بحيث اذا اخذت كل قطعة منها في الانحناء لا تقصر حتى تسقط بين المسندين المذكورين

وقد وضعت على هذه المتوازيات السطوح التي سميتها بالمشورات قصدا للاختصار اتمالا بين المسندين على بعد واحد فانحنى كل من هذه المشورات نوع انحناء

ومن البديهي أن كل ضلع من اضلاع المشور مثل ضلع **أ ب ث** او

**د ه ف** ينثنى على بعضه (شكل ٢) بحسب المنحنى المرسوم في مستو

رأسى والمتمائل بالنسبة لمستوى **ه ب** الرأسى الممتد من نقطة المنتصف التي يكون الجمل واقعا فيها امتدادا عموديا على مستوى الانحناء

وهذا المنحنى هو الذي كان يلزم تعيين اجزائه مع اعتبار الواجهة المحدبة من المشور المنثنى وملاحظتها دائما

وقد لاحظت في جميع ما عملته من التجارب انه متى لم تكن الاثقال كبيرة

بالكلية كانت **غ ب** التي هي سهام قسى **أ ب ث** الحادثة عن القاعدة

المنثنية مناسبة لهذه الاثقال

ولكن اذا كانت السهام صغيرة جدا بالنسبة لوزن ثابت من عدة قسى فان انحناء

تلك القسي يكون مناسباً للسهم المقابلة لها مناسبة مضبوطة وقد استنبطت  
من ذلك القضية الآتية التي توصلنا إليها فيما سبق بالعلوم النظرية وهي أن انحناء  
الاخشاب الناشئ عن ائمال صغيرة جداً يكون مناسباً لهذه الاثقال وذلك  
يكون بقياس هذا الانحناء بخط غ ب الذي هو سهم قوس أ ب ث اعني  
بانخفاض النقطة المتوسطة من القاعدة

فلذن اذا كانت قطعة واحدة من الخشب تحمل بين مسندي ائمال مختلفة  
صغيرة فان هذه الاثقال تكون مناسبة لنصف قطر انحناء القاعدة في النقطة  
المتوسطة من تلك القاعدة ويكون هذا الانحناء مناسباً ايضاً لهذه الاثقال  
الصغيرة جداً

وبعد تعيين نسبة قوة الانحناء المنبهة والنتقل الحادث منه هذا الانحناء ينبغي  
النظر هل مثل هذا القانون يبقى على حاله في صورة ما اذا حمل الجسم اثقالاً كبيرة  
جداً او لا وعليه فما يكون مقدار التغير الذي يعرض لهذا القانون

وقد ذكرنا انواع الخشب الاربعة التي يغلب استعمالها في القنون مع بيان اسمائها  
وربما استعمل من البلوط والراتنج ما قطع منذ خمس وعشرين سنة تقريباً  
كاخشاب السفينة الروسية المسماة ميسايل فانها تحترت سن ١٨٨٠ من  
الميلاد بعد ان استعملت عشرين سنة

ومع ذلك لم يبق هذه الاخشاب على قوتها الاصلية لكن حيث كان المطلوب  
تعيين القوانين التي تضبط بها قوة الاخشاب ومرونتها بواسطة نسب عامة  
لا علاقة لها بالشدة الحقيقية للالياف التي على صورة الخطوط ولا بانواع  
الاشجار واجناسها فان هذه الاخشاب تقي بالمقصود من الاستعمال اكثر من  
الاخشاب المقطوعة حديثاً او بالجملة فالسرو والزان اللذان مضى عليهما بعد  
القطع سنة واحدة يظهر من مرونتهما أن خواصهما دون خواص الاخشاب  
التي مضى عليها بعد القطع خمس وعشرون سنة وهذا يتضح ما ذكرناه ويتنظم  
في سلك البدييات

هذا وقد صنع اربعة مناشير او متوازيات سطوح طول كل منها متران وبعض

شيء ومقدار ~~م~~ كلاهما ثلاثة سنخرات ووضع كل منشور منها بالتوالي على مسندين ثم وضع على منتصفه حل قدره ٤ كيلوغرامات ثم زيد على هذا الحمل حتى بلغ ٨ ثم ١٢ ثم ١٦ وهكذا الى ٢٨ كيلوغراما وقد اثبتنا في رسالتنا الجداول التي يعلم منها أولا سهام القوس الذي تأخذه القواعد وثانيا الفروق الأولية التي تظهر بين هذه السهام وبالإطلاع على هذه الجداول يعلم أولاً أن ٨ كيلوغرامات يتقوس بها المنشور بقدر تقويسه بأربعة كيلوغرامات مرتين فقط ومثل هذا تناسب يحصل بالانضغاطات الصغيرة

وبالإطلاع ايضا على الجداول المتعلقة بسائر أخشاب البلوط والسرور والزان والارانبج يعلم أن الفروق الأولية الحاصلة بين السهام تكون آخذة في الازدياد دائما

وهذه الفروق وإن كانت لا تغلوفى الواقع عن خلل حين الاانه اذا وجد فيها فرق صغير جدا اعقبه يدون واسطة في الجهة المتقابلة لخلل يقوق الاول وحيث ان هذا الخلل لا يزيد عن واحد من عشرة من المليمتر فاذا استعملنا أخشابا محكمة الصناعة وعولنا في ذلك على الطرق الأخرى التي لم نذكرها ترتب على ذلك نتائج تكون فيها الفروق الثانوية ثابتة او متغيرة قليلا (والمراد بالفروق الثانوية الفروق البسيطة او الفروق الأولية الحاصلة بين جلة اعداد)

وعلى ذلك فيمكن أن نعتبر الفروق الثانوية الحاصلة بين الابعاد كأنها ثابتة اذا كانت الانتقال المحولة على قطعة واحدة تزداد بفروق أولية ثابتة وهذا القانون السهل مطابق بالكلمة للتجربة بحيث اذا صنع من البلوط مثلا قطعة منتظمة على طبق الحدود المعلومة من التجربة فان ما يحصل من النتائج لا يتفاوت الا بقدر ٤ من عشرة من المليمتر ويكون الانحناء الكلى المتحصل مساويا ٦ ٠ ٤ من هذه الاعشار وبذلك يسهل بيان هذا الخلل الهين وهو التفاوت المذكور وعند انحناء المنشور يكون على شكل قوس اطول من وتره فهو عند انحنائه لا بد أن يترحلق كثيرا او قليلا على المسندين وهذان المسندان عبارة عن ضلعين



من الخشب على طولها تترشق الالياف الخارجة من المنشور تزلجاً غير متواصل بل يكون بانقطاع تلك الالياف ووثوبها واثارها كثيراً قليلاً ولا تنس اننا كالمقيمين يلددة ليس بهائى مما يخص الفتون حتى الموازين المضبوطة ضبطاً كافياً بحيث يتوصل بها فى تحرير الشئ وضبطه الى ما فوق واحد من عشرة من الف وسيأتى أن كل فرق من الفروق الصغيرة النظرية والحسابية لا يتجاوز الحلة المعين لتحرير العمليات وضبطها

ولما اردنا أن نعرف نتيجة معادلات حل كبير جداً يبلغ قدره ٨٠ كيلوغراماً قابلنا النتائج المتحصلة معنا بالنتائج المتحصلة من حل يبلغ قدره ٤ كيلوغرامات فقط فوجدنا بما يناسب ذلك أن السرو يكون سهم قوسه صغيراً اذا كان الحمل كبيراً ومثله البلوط والراينج والزان

ومن هنا النتيجة الشهيرة وهى ان هذا الخشب يتحمل اكثر من غيره من انواع الخشب التى تكون مقاومتها المنبهة عند الانحناء صغيرة وان كانت المقاومة المنبهة لاى نوع من انواع الخشب قوية جداً فى صورة ما اذا كان الحمل كبيراً بالكفاية كما أن الفروق الثانوية فيها تكون ايضا كبيرة فى هذه الصورة

ومن المعلوم أن الزان فى غاية من المرونة فلذا كان الخراط يصنع منه قوس محرطته لانها به تكون منتظمة وكان اعظم المجاذيف والمدارى عند البصارة هو ما يتخذ من خشب الزان لانه يتحمل ما يعرض له من الجهود العظيمة والمصادمات السريعة ومنشأ كون الفروق الثانوية عظيمة فى الزان هو أن ما يعرض له من الانحناء عند وضع الانتقال عليه لا يمنع من قبول تأثير المصادمات السريعة ولينه معها ولا يكون به عرضة للكسر

وبعكسه خشب السرو فانه لقله لينه وكونه عرضة للكسر كانت فروقه الثانوية غير محسوسة تقريباً فهى على الثلث من فروق الزان

وقد عينا التناقلات النوعية التى تكون لانواع الاخشاب الاربعة المذكورة فى التجارب المتقدمة فكانت فى الترتيب كالمقاومات التى تعرض عند الانحناء وينتج من ذلك قاعدة مهمة فى شأن الاخشاب حاصلها انه اذا كان هناك

سفينتان متحدتان في حجم الخشب لا في نوعه فالمصنوعة من الخشب الثقيل  
يكون تقوسها او انحناءها دون تقوس السفينة المصنوعة من الخشب الخفيف  
لان تقوس السفن يكون على حسب لين اخشابها  
فاذن يلزم أن يكون تقوس سفن بحر بلطى والفلنك اكثر من تقوس سفن  
البحر المتوسط كما دلت على ذلك التجربة

فعلى ما ذكرناه اذا كان هناك سفينتان متحدتا الاخشاب ثقلا وقدر الانوعا  
فما كان منهما مصنوعا من الاخشاب الخفيفة يكون تقوسها دون تقوس الاخرى  
في الانحناء فتكون اشد صلابة منها

والظاهر أن الشهير دون جرجي جوان وقف على الحقيقة في هذا المعنى  
حيث اراد أن يصنع سفنا من الاخشاب الخفيفة كالأخشاب الصغية لامن  
أخشاب البلوط

وبالجملة فالجاريب المتقدمة المتعلقة بمواد المقاومة المنبهة يؤخذ منها طرق  
حساب النتائج المتشابهة وتحصيلها بدون احتياج الى عمل التجارب ذات  
المصاريف التي تحصل في شأن تكسير قطع الاخشاب وهذه الطريقة تعرف  
اوصاف الاخشاب التي تلايم الاشغال المتنوعة في الفنون على العموم لاسيما فن  
العمارات البحرية اجمود المعرفة وربما كان تعيين ابعاد قطع الاخشاب من كل  
سفينة لاعلى حسب رأى المعمار واختياره بل على حسب ما يقتضيه مزاج  
المصلحة ويتوصل بهذه العملية الواضحة الى نتائج اعم ففعلاوا كثر فائدة

وبعد أن ذكرنا التجارب الكثيرة التي حصلت في شأن قطع الخشب المتحددة  
الصورة تكلمنا على القطع المختلفة السمك والعرض فتوصلنا الى هذه النتيجة  
الثابتة وهي

ان المقاومة الحاصلة عند الانحناء تكون متناسبة لمكعب السمك وقد بينا  
بالقواعد العملية حقيقة هذه التجربة

فاذا انحنى متوازي سطوح من الاخشاب فان أليافه الداخلة تنقبض وأليافه  
الخارجية تنبسط ويبقى بينهما ليف متوسط لا يتغير طوله بل يبقى على حاله

مبها كان الخناه متوازي السطوح

ولاجل ايثبات تاثير مزايا الياق وانقباضها اختراع المهندس دو هاميل  
تجربة بدعية وهي انه نشر من المنتصف نشر عموديا على اتجاه الياق ثلاثة  
ارباع سمك قطعة الخشب ثم ادخل في حز المنشار خابورا رقيقا جدا من خشب  
اشد صلابة من خشب البلوط فاذا اسندت قطعة الخشب من طرفها وكانت  
الواجهة التي بها حز المنشار في الجهة العليا وضعت عليها الاتقال ولكن مع  
كونه نشر ثلاثة ارباعها فالربع الباقي من الياق يمكنه المقاومة بسبب ما فيه  
من اللين وقبول الانثناء بحيث تكون القطعة المذكورة باقية على قوتها الاصلية  
فان كان حز المنشار غير متوغل وغائر كثيرا كانت القوة كبيرة والا فصيغة  
ومق نعين بالتجربة الوضع المضبوط لليق الثابت الذي لا يتغير سهل بذلك  
استنتاج نسبة القوى اللازمة لتحصيل المذاق والقبض المقروضين في الياق  
قطعة واحدة من الخشب واغلب ما وقع في طولون ودونكرك من  
التجارب انما كان الغرض منه البحث عن هذا النوع وعما قليل نشر ذلك  
وتشره

وبعد ان حصلت التجربة في تحميل قطع الاخشاب بالثقال مجتمعة حصلت ايضا  
في تحميلها اتقالا موزعة على طولها توزيعا منتظما فوجد ان الاتقال سواء  
كانت مجتمعة في منتصف قطعة الخشب او موزعة على طولها توزيعا منتظما  
تكون فيها نسبة الاسهم الى الانخفاضات الى بعضها كنسبة تسعة عشر الى  
ثلاثين او خمسة الى ثمانية وهذه النسبة تكون واحدة في الاخشاب المتنوعة  
الصف او المختلفة الابعاد

فان اذا جعلنا ثقل قطعة منشورية من خشب وحدة فبتضعيف خمسة اثمان  
السهم الذي يكون لها عند اسنادها من طرفها اسنادا اقيا يحصل السهم  
الذي يكون لها عند تحميلها ثقلا مساويا لثقلها لكن بشرط اجتماعه  
في منتصفها ويؤخذ من هذه القاعدة طريقة سهلة في وزن الاخشاب الثقيلة  
الطويلة بدون موازين بشرط أن يكون سمكها ثابتا لا يتغير

وبموجب ما ذكرناه لاشئ اسهل من اعتبار ثقل واحد موضوع في منتصف قطعة من خشب كثقل موزع على طولها توزيعا منتظما وعكسه وفوائد ذلك كثيرة في الفنون

وقد عينا الخناء قطع الخشب مع مراعاة ابعاد المساند فكانت النتيجة أن كل قطعتين من الخشب مكمكهما واحد ينثيان كهوسين سهماهما مناسبان لمكعبات ابعاد المساند ولا يخفى أن كل سهم بين المساند يكون كمكعب السلك المقابل له وبانضمام هاتين القاعدتين الى هذه القاعدة وهي أن الانحناءات الصغيرة تكون فيها الاسهم مناسبة بالضبط للاجال تتوصل الى هذه النتيجة الغريبة

وهي أن نفرض قطعتين من الخشب متشابهتين بمعنى أن بعدهما المتناظرين متناسبان ونفرض انهما من جنس واحد فاذا اسندناهما من طرفيهما فان سهمي القوس الذي يحصل لهما بسبب ثقلهما الاصلى يكونان مناسبين بالضبط لمربعي طولي هاتين القطعتين وبناء على ذلك مهما كان المقدار الحقيقي للقطعتين المذكورتين فانه يكون لهما في المنتصف نصف قطر واحد من الانحناء ولا يختلف هذه النتيجة في صورة ما اذا وضع على القطعتين اثقال مجتمعة او متوزعة الا أن هذه الاثقال تكون مناسبة لنفس ثقل هاتين القطعتين

ومثل هذه النتيجة مستعملة غالبا في عمليات اشغال الفنون لان العمارات والالات على اختلاف انواعها مناسبة الاجزاء عادة فاذا كان المطلوب المكافحة بين سفينتين متحدتي المادة وكانت ابعاد موادهما مناسبة لابعاد هاتين السفينتين فانه يستنتج من ذلك حيث لا مانع أن تقوس السفينتين يكون له في صورة انحنائهما الاكبر نصف قطر انحناء ثابت مهما بلغ مقدارهما الحقيقي ثم انه يلزم الان معرفة ما به يكبر تقوس السفن الكبيرة عن الصغيرة في نسبة معلومة بقطع النظر عن جميع الاسباب فنقول ان سهم القوس يزاد كربع الابعاد الاصلية للسفينة فعلى ذلك يكون مقتضى ما اسلفناه في شأن السفينة التي طولها ستون مترا وتقوسها نصف متر أن سهم قوس السفينة الصغيرة المشابهة لها التي طولها متر واحد عوضا عن أن يكون جزءا من ستين يكون ثلاثة

آلاف وسدس جز من مائة من نصف متروهي نسبة بسيطة تتعلق بالاطوال  
ولتشرع الآن في بيان ~~تفسير~~ كسر الاخشاب فنقول ليست الاخشاب قابلة  
الالات قباض ومد معينين بحيث اذا تجاوزتهما اندقت وتبططت او تكسرت  
وليس للقوى التي يحصل بها كسر الاخشاب علاقة مطردة بالقوى التي يحصل  
بها الانحناء بل تختلف باختلاف انواع النباتات فقد يحدث عن بعض انواع  
النباتات مقاومة قليلة بالنسبة للانحناء وكثيرة بالنسبة للتكسر وذلك كالقنب  
في النباتات الصغيرة وكالزان والدردار والجوز والراتنج ونحو ذلك في الاشجار  
وقد يكون بعض الانواع بعكس ذلك فيحدث منها مقاومة كثيرة بالنسبة للانحناء  
وقليلة بالنسبة للتكسر وذلك كالسرو والكايلي ونحوهما وبذلك يحصل درجة  
ثانية من الاخشاب وهناك انواع اخرى تكون مقاومتها كثيرة بالنسبة الى  
الانحناء والتكسر جميعا كصنوبر جزيرة قرسقة والبلوط الشديد الصلابة  
الذي هو اعظم المغروسات بالولايات الفرنجية

وهذه الاختلافات الطبيعية لها اهمية عظيمة في الفنون اذ بها يتعين ما تستعمل  
فيه اقسام النباتات المتنوعة عند توفر الشروط اللازمة في ذلك فلا يستعمل  
في العمارات الدائمة التي يانم أن تكون موادها ثابتة لا تتغير وكذلك اجزاء  
الآلات المعدة لتحمل مجهودات عظيمة الاخشاب النباتات الشديدة الصلابة  
ويقدم منها خشب البلوط ثم ما كانت مقاومته للانحناء اكثر كاخشاب الدرجة  
الثانية الا أن الاولى قصر استعمالها على الاشغال الخفيفة التي الغرض الاصل  
منها الزينة حتى لا تقع عليها مجهودات عظيمة

واما اخشاب الدرجة الاولى فينبغي قصرها على الاشغال التي يشترط فيها المرونة  
وذلك كالعربات على اختلاف انواعها وآلات الزراعة وصواري السفن  
ومجاذيف المراكب الخفيفة وما اشبه ذلك

واذا اجريت عمليات التجربة والحساب على القوتين اللتين يكونان لاختساب  
النباتات العظيمة عند مقاومة الانحناء والتكسر عرفت خواص الاخشاب حق  
المعرفة فاذا ن يمكن في جميع الاحوال أن تختار من الانواع ما يكون اتم ملائمة

للاستعمال ولكن ليس هذا الانتخاب سهل الحصول كما قد يتوهم اذا كان المؤيد له اعانات عملية هيئة ليست على ما ينبغي

ولنجث عن قوة الخشب عند مقاومتها للتكسير فنقول اذا اخذنا قطعة من

الخشب كقطعة **أ ب ث د ف** (شكل ١) وثبتناها على **أ ب ث د ه ف**

(شكل ٢) فان ليف **أ ب ث** الخارج يمتد وينسط وليف **د ه ف** الداخل يتقبض ويتكشم واذا رسمنا عدة مستقيمات كستقيمات ١١ و ب ٢ و ج ٣

القائمة على واجهة **أ ث د ف** (شكل ١) فهما كان الانحناء الحاصل لقطعة الخشب فان خطوط ١١ و ب ٢ و ج ٣ الخ تبقى دائما مستقيمة

وقائمة مع محيط **أ ب ث و د ه ف** (شكل ٢) فاذن ألياف الخشب عند انثنائها على بعضها لا يترحل على بعضها على طول البعض الاثر مثلا بعض ألياف الخشب المنحصر في مسافة ١٢٢١ (شكل ١) ينحصر ايضا في مسافة

١٢٢١ (شكل ٢)

والالياف الخارجة التي تمتد والالياف الداخلة التي تتقبض يفصل بينهما **م ن و** الذي لا يمتد ولا يتقبض فلذا سمي بالليف الثابت

ومد الالياف خارج ليف **م ن و** الثابت يكون مناسباً لبعدها عن هذا الليف وكذلك انقباض الالياف داخله يكون مناسباً لبعدها عنه

وقد استنبطنا في النبذة السابقة من هذه القواعد الخواص النظرية المتعلقة بمقاومة الاخشاب عند انحنائها او تكسيرها

وهناك اخشاب متعددة النوع والقوة متى ثبتت على اى منحني كان تكسرت اذا امتدت أليافها الخارجة امتدادا تكون النسبة الحاصلة بينه وبين هذه الالياف ثابتة

ولنفرض أن قطعة من الخشب منتبئة على محيط ما يزيد سمكها او يتقص بشرط أن يكون ليفها الخارج متجهها على اتجاه المحيط فتكثر سمك القطعة المذكورة مرتين او ثلاثا او اربعا الخ فان مد الليف الخارج يتكسر ايضا مرتين او ثلاثا

اواربعا فاذن اذا نقص منحنى محيط  $\overline{ا ب ث}$  بنسبة ازدياد سمك قطعة الخشب للمقدمة فان درجة مداليق الخارج تكون واحدة دائما

ومنى ثبت قطعة خشب كقطعة  $\overline{ا ب ث}$  (شكل ٣) مستندة على مسندى  $\overline{ا و ث}$  وواقع عليها تأثير قوة  $\overline{ف}$  التى هى على بعد واحد من تقطى  $\overline{ا و ث}$  ظهر ان نصف قطر انحناء  $\overline{ا ب ث}$  فى نقطة  $\overline{ب}$  التى هى منتصف هذا المحيط يكون مناسباً لمكعب بعد  $\overline{ا ث}$  عن مسندى  $\overline{ا و ث}$

وفى الانحناءات الصغيرة جداً يكون  $\overline{ر}$  الذى هو نصف قطر انحناء  $\overline{ا ب ث}$  مناسباً  $\overline{ا ث}$  بجعل  $\overline{غ ب}$  عبارة عن سهم  $\overline{ا ب ث}$  فاذن يحدث

$$\overline{ر} = \frac{\overline{ا ث}^2}{\overline{غ ب}} \text{ و } \overline{غ ب} = \frac{\overline{ا ث}^2}{\overline{ر}}$$

وحيث ان قوة  $\overline{ف}$  مناسبة  $\overline{غ ب}$  فان  $\overline{ف}$  تكون مناسبة  $\frac{\overline{ا ث}^2}{\overline{ر}}$

ولكن حيث ان القوة اللازمة للانحناء تكون على نسبة مطردة من سهم  $\overline{غ ب}$  ومنعكسة من مكعب  $\overline{ا ث}$  الذى هو بعد المسندين فاذا جعلنا  $\overline{د}$  رمزاً الى عدد ثابت حدث

$$\overline{ف} = \overline{د} \frac{\overline{غ ب}}{\overline{ا ث}^2} \text{ و } \overline{ف} \times \overline{ا ث}^2 = \overline{د} \frac{\overline{غ ب}}{\overline{ا ث}^2}$$

واذا فرضنا قطعة خشب اخرى كقطعة  $\overline{ا ر ث}$  (شكل ٤) سمكها كسمك قطعة  $\overline{ا ب ث}$  (شكل ٣) حدث ايضا

$$\overline{ر} = \frac{\overline{ا ث}^2}{\overline{غ ر}} \text{ و } \overline{ف} \times \overline{ا ث}^2 = \overline{د} \frac{\overline{غ ر}}{\overline{ا ث}^2}$$





ولنذكر هنا الفرق بين عارضتين موضوعتين بين مسندين متحدتي الطول ويمكن  
احدهما ١ وعرضها ٩ (شكل ٥) وعرض الاخرى ٣ وسمكها ٣  
(شكل ٦) فنقول

ان مقاومة العارضة الاخيرة تكون مناسبة لعارضها وهو ٣ مضروباً  
في مربعه وهو ٩ فحينئذ يكون  $٩ \times ٣ = ٢٧$  هو مقدار مقاومة  
هذه العارضة المربعة عند الكسر ويكون مقدار مقاومة العارضة الرقيقة  
المساوية للمتقدمة في الحجم عند الكسر  $٩ \times ٩ \times ١ = ٨١$   
فعلى ذلك تكون العارضة الرقيقة ثلاثة امثال العارضة المربعة في الشدة  
والصلابة

واذا كان هنالك قطع خشب او حديد او نحوها متفرقة سواء كان المطلوب  
استعمالها في عمارة أو آلة وكان الغرض منها مقاومة الثني ثم الكسر في جهة معينة  
لزم أن يكون سمكها كبيراً في تلك الجهة بقدر الامكان مع تقليل عرضها  
في الجهة العمودية

وهكذا كانت تخشيبات فليسيرت دلورم المهندس الشهير وهو اول من صنع  
تلك التخشيبات واستعملها وكيفية ذلك أن تصف الألواح المتقاطعة الأطراف  
بجوار بعضها بواسطة مسامير ذات برعمة مجوفة فبانضمام هذه الألواح الى بعضها  
يتكون منها تخشيبات خفيفة الا انها متينة صلبة تحمل القباب والسقوف  
وما شبه ذلك

فاذا اقتضى الحال مقاومة الثني والكسر في جهتين عموديتين على بعضهما فلا بد  
من وجود المتانة والوفر معا وذلك باستعمال قطع اخشاب صورة جانبها كصورة  
الصليب اليوناني (شكل ٧) او كصورة (شكل ٨) التي بطرفيها  
ثنيات بارزة جداً ويكثر استعمال هذه القواعد في صناعة الالات المتخذة من  
الخشب والمعادن

واذا فرضنا أن المستعمل قطع مستديرة فان مقاومتها عند الكسر حيث انها  
مناسبة للعروض البسيطة ومربعات السمك تكون ايضا مناسبة للقطر

مضروبا في مربعه اعني في مكعب قطر الاسطوانات غير المجوفة المستديرة التي يقع عليها تأثير الثقل ثم الكسر

وفي الاسطوانات المجوفة فوائد عظيمة لكونها تقاوم الكسر مقاومة جيدة وذلك لان نظامها وحسن صورتها وكذلك في المواد الطبيعية ما هو من قبيل هذه الاسطوانات المستعملة في جميع ما تحتاج اليه تلك المواد من المقاومات العظيمة مع صغر موادها جدا وذلك كبريش الطيور فانه على صورة اسطوانات مجوفة بالنظر للجزء الشبيه بذراع رافعة صغير الذي يقاوم الاعصاب القوية المعدة لتحريك الاجنحة واذا قابلات خفة البريش بمتانته وجدت خفته قد بلغت الغاية بحيث يضرب بها المثل

وهذه الخاصية توجد ايضا في الاشياء الاصطناعية كالاعمدة المجوفة المتخذة من حديد الزهر فان لها زيادة على فائدة مقاومتها في سائر الجهات بالسوية فائدة اخرى وهي جمعها بين المتانة والخفة اكثر من الاعمدة غير المجوفة ومن هذا القبيل ايضا مساند اسرة العساكر فانها على غاية من الخفة والمتانة وذلك باتخاذ القوائم والعوارض من النحاس على صورة اسطوانات مجوفة وهناك كثير من هذا القبيل

\* (الدرس الخامس عشر) \*

\* (في بيان اصطدام الاجسام) \*

قد سبق ذكر المقاومات غير البيئة التي تعرض في كل وقت لتحرك الاجسام المتجاسة المحركة على بعضها ولندكر الان نوعا آخر من المقاومة وهو الذي يحصل عند تلاقي جسمين متحركين على حين غفلة كاتنا مفصولين عن بعضهما بمسافة حينئذ اتفاق وهو المعروف بالاصطدام او بالالتطام فنقول ان سائر الاجسام الطبيعية في حال انفرادها اذا وقع عليها تأثير قوة واحدة او عدة قوى فانها تقبل تأثيرها بكمية واحدة وتكون سرعتها واحدة اذا كانت القوى المحركة لها متساوية وكان مجسمها واحدا

ولكن اذا تلاقي جسمان نشأ عن اصطدامهما حوادث متباينة كل التباين

والاجسام المعروفة بالصلبة هي التي تبقى على صورتها الاصلية عند اصطدامها  
بكل جسم ثبتت له هذه الخاصية اعني عدم تغير صورته عند الاصطدام يسمى  
جامدا وصلبا واما الاجسام الرخوة فهي التي تتغير صورتها بالاصطدام او بمجرد  
الضغط

فاذا اريد تفريق اجزاء جسم رخو بواسطة ضغط او اصطدام او قنعا عليه تأثير  
مقاومة كبيرة او صغيرة بخلاف ما اذا اريد تفريق اجزاء جسم مانع فلا يلزم  
اي قاع تأثير مقاومة ما عليه

وهناك اجسام كالهواء والحقوى والغازات على اختلاف انواعها تحتاج الى ضغط  
دائم حتى لا تدفع اجزاؤها المتنوعة بعضها بعضا ولا تتباعد عن بعضها بكمية  
لا تعرف حدودها الى الآن

ولنبده بالنوع الاول من الاجسام وهي الصلبة فنقول من الاجسام الجامدة  
ما لا يلحقه ادنى تغير في صورته ولوقيا وهذه هي الاجسام التي يصح أن نسمي  
بالاجسام التامة الصلبة ومنها ما يلحقه بعض تغير وقتي يزول بعد الاصطدام  
وهي المعروفة بالاجسام التامة المرونة ومنها ما يتغير جزء من صورته بالاصطدام  
او الضغط وهي المعروفة بالاجسام الرخوة او غير تامة المرونة

ولاجل زيادة التوضيح نفرض أن جسمين بجسمي  $\bar{A}$  و  $\bar{B}$  (شكل ١)  
يتحركان على مستقيم  $\bar{G}$   $\bar{G}$  المار بنقطتي  $\bar{G}$  و  $\bar{G}$  اللتين هما  
مركزا ثقل هذين الجسمين وأن نقطة تماسهما هي  $\bar{C}$  تكون عند  
الاصطدام على مستقيم  $\bar{G}$   $\bar{G}$

فاذا حصل الاصطدام وكانت القوتان الدافعتان الجسمين مؤثرتين على مستقيم  
 $\bar{G}$   $\bar{G}$  المذكور فان محصلتهما تكون مساوية لمجموعهما ولفاضلهما على  
حسب اتجاههما الى جهة واحدة او الى جهتين متضادتين

واذا كان مجسم الجسمين واحدا وكانا مدفوعين بسرعتين متساويتين  
ومتضادتين كانا متوازنين لانه حيث كانت القوتان المحركتان متساويتين  
في الجهتين كان فاضلهما صفرا

واما اذا اختلف الجسمان في الجسم أو السرعة فانه من حيثان وحدة القوة  
تدل عليها المسافة التي تقطعها وحدة الجسم بواسطة هذه القوة في مدة وحدة  
الزمن يكون العدد الكلي الدال على قوة احد الجسمين المتحركة هو عدد آحاد  
جسم الجسم مضروبا في عدد آحاد المسافة التي يقطعها الجسم مدة وحدة  
الزمن

مثلا اذا فرضنا أن وحدة القوة هي الوحدة التي تنقل كيلوغراما واحدا الى  
مسافة متر واحد مدة ثانية واحدة ظهر لنا فوراً أن القوة التي تنقل في مثل هذا  
الزمن عشرة كيلوغرامات الى مسافة متر واحد و كيلوغراما واحدا الى مسافة  
عشرة امتار تكون اكبر من المتقدمة بعشر مرات ويظهر لنا ايضا أن القوة التي  
تنقل في الزمن المذكور عشرة كيلوغرامات الى مسافة عشرة امتار تكون اكبر  
من القوة المذكورة بمائة مرة وهلم جرا

واذا قدرنا بهذه المثابة القوة المؤثرة في الاجسام المتحركة تتحرك كمنتظما بواسطة  
اثقالها مضروبة في المسافة التي تقطع في مدة وحدة الزمن اعني بواسطة افعالها  
مضروبة في سرعتها تحصل معنا ما يعرف بكمية تحرك الاجسام

فاذا جعلنا م و م رمزين للجسمي غ و غ و ق و ق و ن  
رمزين للسرعتين الدافعتين لهما فنحصل معنا كيتا تحركهما وهما م ق و م ن  
اعني القوتين الدافعتين لهما ولنجعل خ كتابة عن م ق و غ كتابة  
عن م ن

ومنى تحرك الجسمين في جهتين متضادتين كان فاضل القوتين المتحركتين وهو

م ق - م ن هو القوة المحصلة المتحركة للجسم م + م  
وحيث ان هذه القوة مساوية للجسم مضروبا في السرعة فالسرعة تساوى  
القوة مقسومة على الجسم فاذن تكون السرعة التي يتحرك بها الجسمان هي

$$\frac{م ق - م ن}{م + م} = \frac{خ - غ}{م + م}$$

وفي الاصطدام الذي اختبرنا تأثيره فكون كمية التحرك الكلية قبل الاصطدام هي  $مق + م٢$  ولا تكون بعده الا  $مق - م٢$  فاذاً تكون كمية التحرك التي اعدتها الاصطدام مساوية  $٢ م٢$  فعلى ذلك اذا تصادم جسمان متجهان الى جهتين متقابلتين ولم يكونا مرتين فان تعينت كمية تحرك كل منهما كانت كمية التحرك التي اعدتها الاصطدام مساوية لضعف اصغر الكيميتين المذكورتين

فاذا اريد حينئذ أن لا تتعد قوة ما في تحرك الاكالات لزم أن لا يكون هناك اصطدام بالكلية بين الاجزاء المتنوعة من هذه الاكالات المتحركة في جهات متقابلة وهذه قاعدة مطردة ينبغي العمل بها في صناعة الاكالات وتحركها فان كل وثبة او تحرك سريع فشا عنه ضرران احدهما تنقيص كمية التحرك دائماً وانما في تغيير صلابة الآلة ومدتها

واذا تحرك الجسمان في جهة واحدة فان القوة المحصلة المتحركة لجسم  $م + م٢$  تكون في مدة الاصطدام  $مق + م٢$  وتكون السرعة التي يتحرك بها هذان الجسمان هي

$$\frac{مق + م٢}{م + م٢} = \frac{م٢ + م٢}{م + م٢}$$

ولنوضح كيفية تقدير توزيع القوى في اصطدام الاجسام الجامدة بهذه العملية فنفرض أن الجسم  $م٢$  بجسم قدره ٣ كيلوغرامات والجسم  $م$  بجسم قدره كيلوغرام واحد ونفرض ايضاً أن  $م$  يقطع مسافة مترين في مدة ثانية واحدة وأن  $م٢$  لا يقطع في هذه الثانية الا مسافة متر واحد فتكون كمية تحرك جسم  $م$  هي  $مق = ٢ \times ٣ = ٦$  وكمية تحرك جسم

$$م٢ هي  $١ = ١ \times ١$$$

فاذا تقتر هذا وتحرك الجسمان في جهتين متضادتين حدث  $مق - م٢$

$$٦ = ١ - ١ = ٠ \text{ و } ٢ + ٣ = ٥$$

فاذن تكون السرعة المشتركة بين الجسمين بعد اصطدامهما  $\frac{9}{10}$  اعني أن كلا من الجسمين يقطع  $\frac{9}{10}$  من المقي في الثانية الواحدة بعد الاصطدام فإذا كان الجسم الصغيره سرعة يقطع بها مسافة ٦ امتار في الثانية الواحدة فانه يحصل  $م = ١ \times ٦ = ٦$  فاذن تكون  $م ق = م و = م ق$  وبناء على ذلك يحصل التوازن  $٠ = م ق$

فإذا اريد اعدام تحرك جسم دفعة واحدة كان لذلك ثلاثة وجوه الاول أن يدفع عليه جسم مساو له في الجسم ويكون سيره اليه بسرعة كسرته والثاني أن يدفع عليه جسم اخف منه لكن تكون سرعته اعظم من سرعته والثالث أن يدفع عليه جسم اقل منه لكن تكون سرعته ابطأ من سرعته

وفي اشغال الفنون دائماً شواهد دالة على انواع التوازن المختلفة التي تحصل من تأثير الاصطدام بواسطة خشبة او قضيب او مطرقة او عصي ثقيله قليلا او كثيراً على حسب مجسم الجماد او الحيوان الذي يدفع على النوع الانساني ويمكن باستعمال سرعة عظيمة اضعاف حركة الحيوان او الجماد وتأخير او سقوطه كما هو العال بغير ثم نرى الصبيان الذين يسرعون العدو والجري يسقط باصطدامهم من هوا كبير واثقل منهم بكثير كالرجال اذا كانوا يمشون الهويناً ومن هذا القبيل ايضا العربات الخفيفة التي يكون اندفاعها بسرعة عظيمة فانها عند الاصطدام تقلب العربات التي تكون اقل منها اذا كان سيرها هيناً

ويستنتج من قوانين اصطدام الاجسام نتائج مهمة تتعلق بالفنون الحربية اقتصرنا في بيانها هنا على فن واحد من تلك الفنون حاصله

(انه عند اصطدام جيوش الخيالة في الحرب تكون الكتاب ذات صف او صفين ثم تزحف بسرعة تترايد بالتدريج حتى تصادم ما يقابلها من الكتاب خيالة كانت او قزابة والغرض هنا معرفة ما يحصل حيثئذ بما يخص هذا الموضوع فنقول

ان الجهة التي تكون فيها كمية تحرك الكتيبة اعني مجموع ثقل الخيول وعددها والخيالة والاسلحة مضروباً في السرعة عظيمة تظهر بالضرورة على غيرها

في ظفرها وتكون كمية التحرك التي تفضل بها الكتيبة الصادمة على الكتيبة  
الصدومة مساويا لفاضل كيتي تحركهما مقسوما على مجموع الكيتينتين  
ونفرض أن الكتيبة المهجوم عليها تثبت محلها أو تمشي الهوا ناحق تصادها  
الكتيبة الهاجمة فيث ان كمية تحرك الكتيبة المهجوم عليها تساوى الكتيبة  
مضروبة في سرعة تساوى صفرا فان هذه الكمية تصير معدومة فلا تكون  
موازنة لكمية تحرك الكتيبة الهاجمة

وقد دلت التجربة على أن الجيوش الخيالة المؤلفة من خيول ورجال شداد ثقال  
لا يمكنها أن تصبر وتثبت لمصادمة جيوش خيالة اخرى اخف منها لكن اذا كانت  
سرعتها متوسطة فانها ربما توازنت مع الجيوش الخفيفة او قلبت خيولها  
ورجالها الخفاف المندفعين عليها بسرعة عظيمة ثم ان الغرض الاصل من هجوم  
الخيالة هو تحصيل اعظم درجة من السرعة عند المصادمة ولاجل معرفة الكيفية  
التي يتوصل بها الى ذلك نقول

ان حصول التحركات في وقت الاصطدام لا يتعلق الا بالكتيبة والسرعة في هذا  
الوقت فيمكن أن تكون هذه السرعة باقية على حالها عند الاصطدام ولو بلغت  
قبل ذلك ما بلغت ليكون التأثير واحدا واذا كان المطلوب مثلا لتلطيف تحرك  
جسم ثقيل وقع من  $\theta$  الى  $\alpha$  (شكل ٢) بسرعة مجلبة فلا يلتفت  
عند وصوله الى  $\alpha$  الى ما كان له من السرعة في  $\alpha$  و  $\theta$  و  $\alpha$  الخ  
اذا كانت كمية تحركه واحدة في  $\alpha$  المذكورة اعني اذا كان متحركا على  
الدوام بسرعه الاصلية ولم يأخذ في مبدء تحركه سرعة هينة تزداد بالتدريج  
فاذن تكون مصادمة الشامردان للفاور واحدة اذا كانت سرعته واحدة دائما  
في وقت الاصطدام

فعلى ذلك يوجد في الاصطدام وفر عظيم في القوى اذا كان التحرك في مبدء الامر  
بطيئا بالتدريج وكانت السرعة تزداد بالتدريج بحيث لا تبلغ نهايتها الكبرى  
الا في وقت الاصطدام

ولنذكر لك وفر القوى الذي يحدث في مصادمات الخيالة فنقول ان اعظم جزء

من المسافة المطلوب قطعها قبل الاصطدام يكون قطعه بالهوى بنا خطوة خطوة  
والجزء الثاني يقطع بالهرولة والثالث بالغيب والرابع وهو الاخير بالركض  
والعدو بحيث لا تنقطع فيه حركة الخيل وتكون كلها في التحرك بجسم واحد  
فاذن يكون الاصطدام في الحقيقة واحدا كما لو كان الخيول من مبداء الركض  
السرعة التي اكتسبتها اخيرا لكن لا يمكنها ان تقطع مسافة عظيمة بمثل هذه  
السرعة لان ذلك يؤدي الى فتور همتها وانعدام قوتها من غير ان تصب في افاقوة  
اخرى

ويظهر ان تطبيق قواعد اصطدام الاجسام على حركات الخيالة في غاية من  
الوضوح والظاهرا ايضا انه يمكن ضبطها على اسهل وجه ومع ذلك فلم تكشف  
ويوقف على حقيقتها الا بعد مضي عدة قرون

وذلك ان الامة الرومانية مكنت في الحرب ثلثمائة سنة وهي لا تعرف تأثير سرعة  
الخيول في قوة المصادمات الواقعة من الخيالة بخلاف خيالة النوميديين الخفيفة  
فانها علمت بهذه القواعد قطرفت بخيالة الرومان الثقيلة في جميع مصادماتها

وايضالما كانت قلة سرعة الخيالة الرومانية تمنعهم عما لا بد لهم منه كان امراء  
الرومان الشوالية ينتهزون الفرصة وينزلون على الارض ويقاثلون بجميع كية  
التحرك التي تصدر من الابطال وفحول الرجال الذين لا يلحقهم التعب من المشي  
ولامن الجري

وقدم مكنت قواعد اصطدام الاجسام المطبقة على حركات الخيالة وعلى نصرات  
فريدريك التي حازها بحسن مراعاته لهذه القواعد مجهولة عند المتأخرين  
الى القرن الاخير من تاريخ ذلك العصر

وتجربى هذه القواعد ايضا في حروب القزابة وسائر الجيوش على اختلافها  
لا سيما في الحروب التي تكون فيها الكتائب عظيمة وليس هذا محل بسط الكلام  
على هذه القواعد فانها مما يخص المدارس العسكرية دون غيرها

هذا وقد اعتبرنا فيما سبق الى هنا الاجسام المتصادمة كأنها قطع مادية ولنعتبر  
الآن امتدادها وصورتها حتى نتضح لنا احوال توازنها وتحركها فنقول



إذا فرضنا أن جسمي  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  (شكل ٣) يتحركان في جهة واحدة  
أوجهتين متقابلتين على اتجاه مستقيم  $\overline{غ}$  الواصل بين مركزي الثقل ثم فرضنا  
أن سطحي هذين الجسمين عمودان في قطبي  $\overline{ث}$  و  $\overline{ث}$  على مستقيم  $\overline{غ}$  المذكور  
فإن القوة التي تصادم بها جسم  $\overline{م}$  مع جسم  $\overline{م}$  تنعدم بواسطة سطح  $\overline{م}$   
وكذلك القوة التي تصادم بها جسم  $\overline{م}$  مع جسم  $\overline{م}$  فانها تنعدم أيضا  
بواسطة  $\overline{م}$  هذا إذا كانت كمية تحرك الجسمين واحدة

ولنفرض الآن (شكل ٤) أن سطحي الجسمين مائلان بالنسبة لمستقيم  
 $\overline{غ}$  إلا انها متوازيان في  $\overline{ث}$  و  $\overline{ث}$  الموضوعين على مستقيم  $\overline{غ}$   
الواصل بين مركزي ثقل جسمي  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$

وهذان الجسمان يتماسان عند الاصطدام (شكل ٥) ولكن  $\overline{ا ث}$   
و  $\overline{ا ث}$  رمزين إلى جزئي مستقيم  $\overline{غ}$  الدال على كميتي التحرك  
الدافعتين لجسمي  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  ولنفذ  $\overline{ب ث}$  عمودا على الاتجاه المشترك  
بين جسمي  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  في  $\overline{ث}$  ثم نفذ  $\overline{ا ب}$  و  $\overline{ا ب}$  عمودين على  
 $\overline{ب ث}$

فإذا حصل الاصطدام تحرك أولاهما  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  تحركا مستقيما  
في جهة  $\overline{غ}$  بسرعة مشتركة مقدارها  $\frac{\overline{ا ث} + \overline{ا ث}}{\overline{م} + \overline{م}}$   
وثانيا يدور  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$  حول مركزي ثقلهما بسرعة مساوية بالتناظر  
 $\overline{ب ث} - \overline{ب ث}$  و  $\overline{ب ث} - \overline{ب ث}$  ومقسومة على مقدار  
أيترسي  $\overline{م}$  و  $\overline{م}$

وإذا أخذنا هنا أن الجسمين يتصلان عن بعضهما بعد الاصطدام في صورة  
ما إذا لم يكن سطحهما عمودا على المستقيم الممتد من مركزي ثقلهما  
وهناك صورة أصعب من ذلك وهي صورة (شكل ٦) لا تكون فيها نقطة

تمام الجسمين عند الاصطدام موجودة على المستقيم الواصل بين مركزي ثقل

غ و غ

ولما انهما الكلام على احوال الاصطدام في صورة ما اذا كان الجسمان متجهين

على مستقيم واحد مناسب أن تكلم عليه في صورة ما اذا كانا متجهين على خطين

بينهما زاوية ما ويتلاقيان في نقطة ١ (شكل ٧) فنقول لتكن ح و خ

هما القوتان الدالتان على كميتي التحرك الدافعتين للجسمين فاذا رسمنا متوازي

الاضلاع وهو أ ب د ث الذي ضلعاؤه أ ب و أ ث مناسبان

لقوتي ح و خ كان وزره وهو أ د دالا على كمية التحرك الدافعة

للجسمين المتلاقين في نقطة ١ وعلى الاتجاه المشترك الذي يتبعه هذان

الجسمان بعد الاصطدام اذا لم يكونا مرتين فاذن اذا جعلنا م و م رمزين

لجسمي الجسمين فان سرعتهما بعد الاصطدام تعلم من  $\frac{أ د}{م ق + م د}$  و أ د

هو عبارة عن كمية التحرك

وتكون قوانين توصيل التحرك واحدة اذا كان كل من الجسمين يتحرك على منح

متواصل عوضا عن تحركهما على مستقيم واحد لانهما يقطعان في الزمن القليل

الذي يعقب الاصطدام مسافة تنطبق على مستقيم صغير مماثل للمنحنى في النقطة

التي يحصل فيها الاصطدام

فعلى ذلك اذا اخذنا مثلا بندولين بسيطين كبندي ح و ح

(شكل ٨) متحدين في الطول فهما كان مجسما هذين البندولين فان قوانين

الاصطدام تصير عين القوانين التي توجد في صورة ما اذا كانا يتصادمان معا

في الوض الذي يكون فيه كل من خيطيهما رأسب أ جسمي ح و ح

يصلان الى هذا الوضع يكون احدهما يقطع خ ح والاخر يقطع غ ح

المماسين في ح و ح لمستقيم ط ط

فاذا رفعنا حينئذ الى ارتفاع واحد من خ و غ مجسبي ح و ح

المساويين فانهما ينزلان في زمن واحد بسرعة واحدة الى وضعي ح و ح  
فيتصادمان فيهما لكن حيث ان الجسمين المضروبين في سرعتيهما متساويان  
هنا من الجهتين فان التوازن حيثئذ يكون حاصله ولا يتحرك الجسمان بعد  
الاصطدام

فاذا كان احد الجسمين كبيرا حصل التحرك في جهته على حسب القانون المعلوم

$$\text{من معادلة } \frac{م ق - م ن}{م + م}$$

ولنختبر الان اصطدام جسم يتحرك تحركا مستقيما مع جسم يتحرك وهو دائر  
على نفسه فنقول

لنفرض أن جسما بجسم م (شكل ٩) مركزه في غ يدور حول  
محور ث المين بنقطة ث وقد بيننا في الدرس السابع من هذا الجزء  
انه يوجد على امتداد مستقيم ث غ نقطة كنقطة ث فهذا يمكن  
أن نفرض دائما أن مجسم جسم م يكون محصورا بينهما في نقطة ث  
ويكون زيادة على ذلك مدفوعا بسائر كمية التحرك التي تكون للجسم بدون تغير  
سرعة هذا الجسم المتزوية ولنفرض ايضا أن جسم م يعارضه عند تحركه  
مانع مثل م وانه في نقطة أ التي يعرض فيها هذا المانع للجسم يكون سطح  
المانع و سطح الجسم عمودين على خط ث أ العمودي على ث ث فينعدم  
جميع تحرك الجسم بسبب هذا المانع الثابت بالفرض فاذا بقي الجسم ساكنا  
بواسطة تأثير الالتطام وعند الاصطدام لا يكون محور ث ثابتا وتعرف  
نقطة ث المذكورة بمركز الالتطام

فاذا كان المانع الثابت المدلول على مقاومته بحرف ف على وجه بحيث  
يكون بعد شد اكبر من ث (شكل ١٠) او اصغر منه (شكل ١١)  
فان محور الدوران تعرض له مقاومة من تأثير الاصطدام

وجسم م الواقع عليه تأثير قوى ف و ف يكاد ينشأ أو يتكسر  
بين ث و د (شكل ١٠) وكذلك بين ث و ث (شكل ١١)  
فيحدث بموجب توازن القوى للتوازية

$$\text{ف} \times \text{ث} = \text{ف} \times \text{ث}$$

وزيادة على ذلك يكون تأثير ف الحاصل من المحور بواسطة الاصطدام  
مساويا ف - ف (شكل ١٠) و ف - ف (شكل ١١)

وحينئذ فكما كان الاصطدام حاصلا على مستقيم اف ولم يكن على  
بعدمن ث = ث عرض محور ث الثابت مقاومة من الاصطدام

فاذا كان ث (شكل ١٠) اكبر من ث دفعت مقاومة  
الاصطدام المحور الثابت الى جهة مضادة لجهة دوران جسم م واذا كان

ث اصغر من ث دفعت مقاومة الاصطدام المحور الثابت الى جهة  
دوران جسم م وهذه النتائج تستعمل بدون واسطة في اشغال الفنون

فستعمل غالبا المطارق والمقاع التي تتحرك تحرك دوران لاجل تحصيل  
الاصطدامات \* ولكيلا يعرض لمحور المطرقة وهو ث (شكل ١٢)

مقاومة ما عند الاصطدام يلزم استيفاء جميع الشروط الموجودة في شكل ٩  
فعلى ذلك اذا كان م هو الجسم الموضوع على السندال و ا هي النقطة التي

يقع عليها دق المطرقة كان مستقيم اف العمودى في نقطة ا على سطح  
المطرقة مارا بنقطة ث التي هي مركز الالتصام وكان مستقيم ث

عمودا على ا

فاذا حرك الصانع المطرقة بيده (شكل ١٣) فان لم تكن جميع الشروط المذكورة  
مستوفاة عرض اليد مقاومة مؤثرة وتكون تلك اليد مدفوعة الى جهة مصادرة

لجهتها او مضغوطة في جهة التحرك الحاصل له على حسب قرب النقطة التي يقع  
فيها الاصطدام قريبا قليلا او كثيرا او بعدها كذلك عن محور دوران المطرقة

ثم ان الاصطدام المستقيم لجسم يستعمل في تحريك بندول يرتج حول محور  
ومثل هذا التأثير يقع في التجارب الحاصلة في شأن البندولات الطوبجية  
فلنفرض كتلة مجسمة من الخشب ككتلة  $M$  (شكل ١٤) محاطة بروابط  
من حديد ومعلقة في محور  $ث$  بقضبان من حديد ايضا

ونطلق رصاصة او كرة كتلة  $m$  في بندول  $m$  ولا بد أن نحذفها بحيث  
تكون على اتجاه المستقيم المار بنقطة  $ث$  التي هي مركز الالتصاق فاذا افينا  
بذلك لم يعرض لها مقاومة ما على محور الدوران وهو  $ث$  وتكون سرعة  
البندول المتزوية مساوية  $m \times ث$  ومقسومة على مقدار اينرسي  
البندول الذي تدخل فيه الرصاصة

فاذا علمت مقدار اينرسي البندول ومحسبي  $m$  و  $م$  وبعد  $ث$  علمت  
بواسطة عملية سهلة سرعة كل من هذين الجسمين عند الاصطدام وهذه هي  
الكيفية المستعملة في قياس سرعة المحذوفات قياسا صحيحا ولهذا القياس  
اهمية عظيمة في فنون الطوبجية

وقد تقدم أن القوى تتعدم كلما كان تأثيرها واقعا في جهات متقابلة فاذا كان  
المطلوب أن القوى لا تتعدم كما هو الواقع في اغلب الآلات لم أن تجتنب  
في هذه الآلات حسب الامكان الاصطدامات الناشئة من التحويلات  
في جهات متضادة

ويلزم لذلك ايضا اجتناب الاحتكاكات التي عوضا عن أن تكون متواصلة  
وغير ظاهرة تكون حاصلة بواسطة رجاات ووثبات ومقاومات ينشأ عنها دائما  
بعض اصطدامات مضرة وحيث ان هذه الاصطدامات لها دوى وقرعة  
ويتخلل بها ما تلاقيه علم من ذلك أن اجود الآلات هو ما يكون تحركه صادرا  
مع الانتظام واللفظ بدون قرعة ولا اضطراب  
ومن اهم الاشياء ما يستعمل من الاحتراسات في اجتناب مثل هذه  
الاصطدامات في الطارات المضرة

فلنفرض (شكل ١٥) أن ضرس د من طارة و ينقلت في وقت دفعه لضرس ز من طارة و قبل أن يصل ضرس د إلى ضرس ز من الترس الصغير فلا يجد هذا الترس حيث قد ما يعارضه فإذا وقع عليه تأثير قوة تحركه تحركا تفهقريا حتى يتلاقى د مع ز فإذا حصل الاصطدام في جهتين متضادتين ويعقب ذلك انعدام كمية التحرك ويلزم بمقتضى القاعدة المطردة أن يصل ضرس د إلى ز قبل انفصال ضربي د و ز عن بعضهما

ولنذكر لك هنا الملاحظات التي لاحظناها في شأن الاصطدامات الصغيرة الحادثة من تحرك السفن حيث انها تجري في سائر انواع الآلات فنقول انه بموجب ما سبق اذا كانت السفينة مستقرة عرض لحزبها الاسفل انكماش وانقباض ولحزبها الاعلى انبساط وامتداد وحدث عن هذين التغيرين أولا امتداد الياض الخشب او انكماشها وثانيا تلف قطع الاخشاب المتلاصقة وانفصالها عن بعضها وثالثا انثناء المسامير المسكة لها او تكسرها وكلما تزايدت مقادير القوى المغيرة تزايدت تأثيراتها ايضا غير أنها فيما بعد لا تناقص بنسبة واحدة عند تناقص هذه المقادير لان التغير المذكور انما يقع في الاجسام غير تامة المرونة

فعلى ذلك اذا تناقص تقوس السفينة اعتدلت المسامير واستقامت قليلا وقطع الاخشاب التي انفصلت عن بعضها لا تصل ثانيا الا من بعض اجزائها وكذلك الالياف الممتدة فانها تنكمش انكماشاً كافياً والالياف المنكمشة لا تعود الى طولها الاصل بالكلية

فاذن لا يوجد عظيم اتحاد بين مواد السفينة ومثل هذا العيب يؤثر في اخشاب السفن تأثيرا شديدا

وانحلال هذه المواد لا يمنع من أن كل جزء منها يتحرك بدون معارض قليلا او كثيرا على حسب الاجراء التي كانت مجتمعة معه في الاصل قبل الانحلال ويطلق على مجموع هذه التحركات الصغيرة اسم تحرك الاخشاب

ولما فرضنا أن القوى المغيرة مؤثرة في سفينة بجميع اجزائها متحركة فان أول تأثيرها يكون عبارة عن تحويل مواد تلك السفينة عن اوضاعها بحسب ما تأخذ من الاتجاهات بواسطة تحركها ولا يعارض تحويل تلك المواد المقاومة لثربها وإلى ههنا لم يتقص شيء من كية القوى التناطية الدافعة للسفينة بحماها

وإنما يعرض لكل جزء عند تحوله عن وضعه بدون معارض على الوجه المذكور سرعة فإذا حصل له مقاومة شديدة من بقية الاجزاء حدث عن هذه السرعة اصطدام

فعلى ذلك لا يكتفى الضغط الهين في كون اجزاء السفينة تؤثر على بعضها بحيث تمتد وتنكمش وبالا اصطدام تزيد شدة القوة الاضطرابية زيادة بالغة وبذلك تبقى القوى المغيرة على حالها ويزداد تحرك قطع الخشب على الدوام وينشأ دثما عن ذلك تأثيرات تصير بالتدريج خطيرة مضرّة

ثم ان ما ذكرناه من الاصطدامات ههنا شيء بالضرورة عن السرعة الغير اليبنة في صورة التغيرات البطيئة الواقعة في وسق السفينة وتكون شديدة سريعة في صورة ما يحدث عن القوى الطبيعية من الاضطراب

ولا يلزم أن نطبق على صناعة السفن ما يمكن تطبيقه على تشييد عمارة في الارض لا ينضم فيها تأثير القوة المغيرة الى تأثير قوة تناقل المواد وإنما يلزم اعتبار السفينة في حالة سيرها على البحر المضطرب كثيرا او قليلا او في حالة اضطرابها بالرياح القوية كثيرا او قليلا الثابتة كثيرا او قليلا او الدافعة كثيرا او قليلا

فيعلم من ذلك أن مقادير القوى التي يحدث عنها تقوس السفينة تتغير في كل وقت حتى انها عند التقدم والمؤخر تكون بالتعاقب موجبة وسالبة فيلزم اذن أن نعتبر السفينة المضطربة بالبحر والرياح كنعبان لا يزال عند عومه على وجه البحر المتوج ينحني وينثنى في المستوى الرأسى من طريقه ويسير الى جهة الامام فيحدث عن سيره تلك المثابة خط منعوج

ثم ان قوانين اصطدام الاجسام الصلبة المجردة عن المرونة هي كقوانين الاجسام الرخوة وما يعرض من التغير للاجزاء المتنوعة من هذه الاجسام لا يغير شيئا

من التحرك في وقت الاصطدام وليس الامر كذلك في اصطدام الاجسام المرنة  
فاذا تقابل جسمان على غاية من المرونة وكانا متحركين مجسما وسرعة فعوضا عن  
كونهما يتوازنان ولا زمان السكون يعدم كل منهما قوة الاخر ويحول اليه  
جميع ماله من القوة الخاصة به فعلى ذلك يتقهقر كل منهما في طريقه بما كان له  
من السرعة قبل الاصطدام ولا تتغير كمية تحركه وهذه الخاصية للاجسام المرنة  
المتحدة في الجسم والسرعة لا تتغير بتغير المجسمات والسرعة بحيث يبقى مجموع  
كميات التحرك على حالة واحدة قبل الاصطدام وبعده

ولذلك هنا بعض تطبيقات على هذه القاعدة فتقول لنفرض أن جسم  $A$   
الساكن (شكل ١٦) يصدمه جسم  $B$  المتحرك معه في الجسم وهو  
م وفي السرعة وهي  $C$  فتكون كمية التحرك صفرا بالنسبة الى جسم  $A$   
و  $C$  بالنسبة الى جسم  $B$  فحينئذ تكون الكمية المذكورة بالنسبة  
للجسمين هي  $C$  فاذا نوصل جسم  $B$  الى جسم  $A$  ساكن كمية  
التحرك وهي  $C$  غير أن جسم  $A$  لا يمكنه أن يوصل الى جسم  $B$   
الا كمية تحرك تساوي صفرا اعني معدومة فاذا نعدم جسم  $B$  كمية تحركه  
بتمامها يبقى ساكنا وما لجسم  $A$  الذي اخذ جميع كمية تحرك جسم  $B$   
واتحد معه في الجسم فانه يتحرك بالسرعة التي كان يتحرك بها جسم  $B$   
ولنفرض الآن أن هناك (شكل ١٧) ثلاثة اجسام مرنة ومتحدة الجسم  
كاجسام  $A$  و  $B$  و  $C$  وليكن جسم  $C$  هو المتحرك دون  
غيره فباصطدام هذا الجسم بالجسم  $B$  يوصل اليه جميع كمية تحركه ويبقى  
ساكنا وكذلك بصادمة جسم  $B$  لجسم  $A$  يوصل اليه جميع كمية تحركه  
 ويبقى ساكنا فاذا نبتحرك جسم  $A$  دون غيره بكمية التحرك التي كان  
يتحرك بها جسم  $C$

ويحصل مثل هذه النتيجة في صورة ما اذا كان هناك اربعة اجسام او خمسة الخ  
متساوية وكان الاخير منها هو المتحرك دون غيره فالاجسام المتوسطة تبقى بعد



الاصطفاء بما كنهه دائما كالجسم الاخير بخلاف الجسم الاول فانه يتحرك ويسير الى الامام بجميع كمية التحرك التي كان يتحرك بها الجسم الاخير وتوضح هذه الحقيقة الميكانيكية بواسطة ك من العاج مثل **أ** و **ب** و **ث** (شكل ١٨) تعلق بخيوط على صورة بندولات فاذا ابتدأت أولا كرتين احدهما عن يمين الخط الرأسى الممتد من نقطة التعليق والاخرى عن شماله وخليا ونفسهما للوقوع في زمن واحد فانهما يصلان الى الخط الرأسى في زمن واحد بسرعة واحدة ثم يتجهقان في طرفيهما السرعة المذكورة .

فاذا كان العاج تام المرونة ولعب به في الفراغ فان الاكتر تصعد بالضبط الى ارتفاع  
مبدئ سيرها فاذا وقعت كلها من هذا الارتفاع في زمن واحد فانها تصادم ايضا  
بسرعة واحدة ويحدث من ذلك التحرك الدائم غير ان العاج ليس من الاجسام  
التامة المرونة لانه لا يوجد في الاجسام الطبيعية ما هو بهذه المثابة فاذن تصعد  
الاكتر عقب كل اصطدام شيئا فشيئا الى اعلى ثم تنعدم عقب حصول عدة رجات  
كميات تحرك تلك الاكتر بالكلية

واذا علقت ثانيا ثلاث أكر من العاج وكانت ثمانية لبعضها بالطبع ورفعت الكرة الأولى وهي **أ** الى **ح** (شكل ١٨) ثم خلّيت ونفسها للوقوف فان الكرة المتوسطة وهي **ب** تبقى في هذا الوقت ساكنة وتصعد الكرة الأخيرة وهي **ث** الى **خ** في ارتفاع نقطة **ح** ثم تقع ثانيا وتوصل فتحرّكها بواسطة كرة **ب** الى كرة **أ** فتصعد الى **ح** ثم تهبط كالكرة الأولى وهلم جرا ويتحصل مثل هذه النتيجة في صورة ما اذا كان هناك اربع اكر وخمس اوست او اى عدد كان من الاكر.

ولا يقتصر هنا على ذكر الاصطدام المستقيم في الاجسام بل تذكر ايضا قوانين  
اصطدامها المنحرف مقتصرين في ذلك على فرض أن احد الجسمين ثابت  
ومستويا الآخر كروي ومالا يختصا بحسب الاسكان فنقول

انه في الوقت الذي يتلاقى فيه في نقطة ث كـ: ض (شكل ١٩)

المدفوعة بقوة أو المخرفة مع المستوى الثابت تدور هذه الكرة حول نقطة  $\overline{ث}$  بقوة تساوي أو  $\times \overline{ثف}$  الذي هو خط عمودي على  $\overline{أوف}$  ولترسم مستطيل  $\overline{أشوك}$  الذي ضلعاه  $\overline{وك}$  و  $\overline{أش}$  موازيان لمستوى  $\overline{من}$  وضلعاه الاخران وهما  $\overline{أك}$  و  $\overline{وش}$  عمودان على هذا المستوى

فحيث ان قوة أو  $\overline{تعلل}$  الى  $\overline{وش}$  و  $\overline{وك}$  اذا كانت الكرة والمستوى جسمين مجزئين عن المرونة لم يبق معنا اذن الا  $\overline{وك}$  واما قوة  $\overline{وش}$  التي هي عبارة عن ضغط الكرة على المستوى الثابت فيعدمها هذا المستوى

وبواسطة الاحتكاك الحاصل لمستوى  $\overline{من}$  من ضغط  $\overline{وش}$  تتحرك الكرة المدفوعة بقوة  $\overline{ك}$  و الموازية لهذا المستوى وقد تقدم في الدرس الثالث عشر بيان الكيفية التي بها يمكن تقدير التأثيرات الحاصلة من هذه القوة

وحيث ان الاحتكاك يمنع الكرة عن التزحلق على مستوى  $\overline{من}$  فانها تتدحرج على هذا المستوى كما تتدحرج العجلة على الارض فاذا كان المستوى يتجأه مصقولا بالسوية كانت مقاومة الاحتكاك واحدة بالنسبة لضغط

$\overline{وش}$

فاذا لم يكن الجسم الذي يصادم المستوى محيط مستدير فانه يتدحرج على هذا المستوى على وجه بحيث يصدم مركز ثقله ويهبط بالتعاقب ويحدث من ذلك مقاومات غير متساوية ومبهمة كثيرا او قليلا تقتصر على ذكرها هنا فنقول

ان هذه المقاومات غير المتساوية تدل على أنه يلزم في توصيل الجهود المتواصلة مع الانتظام الى طول المستوى الثابت يتجأه أن نستعمل دائما اجساما محيطاتها مستديرة كالكر والاسطوانات والمخاريط وسطوح الدوران

على العموم

فإذا كان معاندا لآعن الجسم الصلب جسم رخوي صادم المستوى الثابت كانت المسئلة غامضة يلزم فيها معرفة الصورة التي يأخذها الجسم الرخوي بعد الاصطدام غير أن هذه الصورة قل أن استعملت مع الفائدة في الفنون الميكانيكية

ولا يقع مثل ذلك في اصطدام الاجسام المرنة فإذا كان جسم تام المرونة بجسم  $\overline{A}$  يصادم مستوى  $\overline{MN}$  (شكل ٢٠) فان قوة  $\overline{AO}$  الدافعة له تنحل الى قوتين اخرين احدهما  $\overline{WS}$  التي تدفعه عموديا على مستوى

$\overline{MN}$  والثانية  $\overline{WK}$  التي تؤثر فيه بالتوازي لهذا المستوى وحيث ان هذه القوة الاخيرة لا يمنعها مانع فانها تستمر على تأثيرها بعد الاصطدام فاذن يتحرك الجسم دائما مع سرعة واحدة بالتوازي لمستوى  $\overline{MN}$  الثابت

وحيث ان قوة  $\overline{WS}$  مؤثرة عموديا على  $\overline{MN}$  كان يجري عليها قوانين الاصطدام المستقيم في الاجسام المرنة فاذن يلزم أن تتحول قوة  $\overline{WS}$  بتمامها الى المستوى الثابت وتعود الى وضعها الاصلى بواسطة مقاومة هذا الجسم المساوية دائما للتأثير فيصعد حينئذ الجسم المرن المدفوع بقوة مساوية لقوة  $\overline{WS}$  غير أنها تكون متجهة الى جهة مضادة لجهتها وبناء على ذلك اذا وصل جسم مرن بجسم  $\overline{O}$  يتحرك منتظما مستقيما الى وضع بحيث انه

في زمن معلوم يقرب من  $\overline{WK}$  موازيا للمستوى الثابت ومن  $\overline{WS}$  و عموديا على هذا المستوى بعد حصول الاصطدام فان هذا الجسم يقرب في مسافة واحدة من الزمن من  $\overline{WK} = \overline{WK}$  موازيا للمستوى

الثابت ومن  $\overline{WS}$  عموديا على هذا المستوى وحينئذ يكون خط  $\overline{OA}$  الذي هو عبارة عن اتجاها المسافة المقطوعة ومقدارها هو وتر الشكل

المتوازي الاضلاع القائم الزوايا وهو ش وك المساوي ش وك ا  
فاذن تكون زاويتا اوش و اوش متساويتين

فعلى ذلك اذا صادم جسم تام المرونة مستويا ثابته مصادمة على حسب زاوية  
تعرف بزواية السقوط فانه يكون ملازما لسرعته وياخذ اتجاها جديدا  
يبعد عن هذا المستوى ابعادا على حسب زاوية تعرف بزواية الانعكاس وهي  
مساوية لزاوية السقوط

وقد سبق أن العاج قريب جدا من الاجسام التامة المرونة فلذا اذا صادت  
الكرة المتخذة من العاج مستويا فانها ترتد مع سرعتها الاصلية بحيث تكون زاوية  
الانعكاس مساوية تقريبا لزاوية السقوط وبالجمله فلعب البليار مبني على  
معرفة قانون اصطدام الاجسام المرنة

ولنفرض مثلا أن جانة من خانات البليار كخانة ث (شكل ٢١)  
موضوعة على وجه بحيث تناسب كرتي ا و ب فاذا مددنا قولا مستقيم  
ث ب ه حتى وصل الى خط م ن وثانيا مستقيم ا ه حدث معنا  
أن زاوية م ه ب = ن ه ا فاذا دفعنا كرة ا الى نقطة ه  
انعكست على اتجاه ه ب وصادمت ب مصادمة مستقيمة ثم سكنت  
واما ب فانها تنتقل الى هذه النقطة مع سرعة كسرعة ا بشماها عند  
الاصطدام في اتجاه ب ث الذي يوصل الى الخانة وليست كرة ب  
في الغالب على اتجاه ث ب ه القائم الموصل الى الخانة كما في شكل ٢٢  
فيلزم اذن أن كرة ا بعد أن ترمي الى ه وتنعكس بحيث يكون ا ه ن  
= م ه ا تصل الى وضع ا لتصادم كرة ب ثم تعود الى خانة ث  
(وهذا الشرط يتحقق اذا كان مستقيم م ه المماس لكرتين في نقطة  
تماسهما موضوعا على وجه بحيث تكون الزاويتان الحادتان منه مع مستقيمي  
ب ث و ا ه متساويتين)

ويؤخذ من ذلك أن لعب البليارد يستلزم أن يكون النظر ممتزنا على تصور  
الاتجاهات والزوايا وأن تكون اليد أيضا ممتزنة على ما يرشدها النظر اليه  
وفي القرن السابع عشر استعمل الشهير ووبان طريقة في اطلاق المدافع لها  
علاقة بانعكاس الاجسام المرنة وهي أنه اذا اطلقنا كرة متوسطة الثقل ككرة  $\alpha$   
على اتجاه  $\overline{AB}$  (شكل ٢٣) المرتفع قليلا عن الافق فان تلك الكرة  
الواصله الى الارض بواسطة التناقل تقع في نقطة  $\alpha$  على حسب زاوية أكبر قليلا  
من زاوية  $\beta$   $\overline{AN}$  وتنعكس حينئذ على حسب زاوية  $\beta$   $\overline{AN}$  المساوية  
زاوية  $\beta$   $\overline{AN}$  تقريرا ثم تقع مرة أخرى لترتفع ثانيا فاذا وجد حينئذ على خط  
 $\overline{AN}$  عدة مواقع يلزم ازايتها فانا نطلق عليها الكل عدة مرات حتى يحصل بذلك  
الاصطدام والانعكاس او الوتوب وليس حصول الانعكاسات المتوالية  
او الوتوبات مقصورا على صورة ما اذا ضربنا بالكرة على اجسام صلبة كالجلدران  
المبنية بالاجار او الاخشاب وكالحصون المثينة والسفن واوضربنا بها على ارض  
مبلطة او برية متسعة او نلوح كما فعله العساكر الفرنسيون في واقعة اوسترلتن  
بل تحصل ايضا في صورة ما اذا رمينا اجساما مرنة على سائل تضرب سطحه  
على حسب زاوية سقوط صغيرة  
ومثل ذلك يعرفه حق المعرفة الصبيان الذين يرمون على وجه الماء اجارا  
مسطحة فان هذه الاجار تنب ويحدث عنها سبع انعكاسات او ثمانية او عشرة على  
حسب كبر قوة الرمي وصغرها وخفة يده عند الرمي  
وفي الضوء الواقع على الاجسام الرخوة شاهد لطيف على ما للاجسام المرنة من  
الانعكاسات المهمة لان زاوية الانعكاس في هذا الوقوع مساوية دائما لزاوية  
السقوط واعظم الالات الفرجية ضبطا هو ما تتحقق به مرونة تلك الاجسام  
وقد تقدم في مجت الاصطدام أن الاجسام الصلبة والاجسام الرخوة يتقدم  
جزء من قوتها اذا كانت اتجاهاتها متضادة وذلك متعذر في الاجسام التامة  
المرونة ونادر في الاجسام غير تامة المرونة

وهذه الميزة المختصة بالاجسام المرنة دون الاجسام الصلبة والرخوة جدا - استعمال تلك الاجسام نافعا جدا في علم الميكانيكا مثلا اذا لاحظنا تحرك العربات التي يعرض ليجلاتها دائما اصطدامات كبيرة او صغيرة من الاجزاء البارزة في محرها وجدنا ان الاتيغ في تلك العربات ان تحمل صناديقها او وسقها على يايات لان تأثير هذه اليايات يحفظ جراً من القوة الاقية كان يعدمه الاصطدام فيستعمل حينئذ هذا الجزء في تحرك العرب المتزايد واما جزء القوة الدافع للعربة من اسفل الى اعلى بواسطة تأثير اليايات التي تنثنى على نفسها حين تتخذ القوة الدافعة من اسفل الى اعلى في التأثير فان مركز ثقل العرب يرتفع به قليلا وكثيرا لكن متى زال المانع وهبطت عجلات العرب بعد الصعود فان اليايات الرافعة لصندوقها او وسقها تعيد مركز ثقلها الى ارتفاعه الاصلي بالتسبة الى العجلات

فعلى ذلك يعرض بواسطة تأثير اليايات لمركز ثقل العربات تحركات قليلة السرعة والمدة الى اعلى والى اسفل ويكون هذا التأثير ظاهرا جدا اذ اقول بين رجات عربتين احدهما غير معلقة والاخرى معلقة بيايات لا -

العربة المترايدة وليست فائدة التأثير المذكور مقصورة السياحين بل له فائدة اخرى اعظم من ذلك وهي انه يقي بحصر المنقولة من التحركات السريعة والاصطدامات التي تضر بتلك المنقولات وتجس بقيتها فاذا علقنا هذه المحصولات على يايات لاجل ثقلها على العربات تحصل من ذلك فائدتان احدهما حفظ تلك المحصولات حفظا تاما والثانية انه يكفي في ثقلها قوة صغيرة جدا وقد اشتهرت هذه القواعد منذ سنوات وجرى عليها العمل قري عدينة باريس بجهة كبيرة من العربات معلقة على يايات ومعدة لنقل الاشياء السريعة التلف ولا زال استعمالها آخذا في الزيادة على مدى الايام لان له فائدتين احدهما ثقل الاتقال العظيمة بالخيول المعدة لذلك والثانية منع ضرر ما ينشأ عن ثقلها من العوارض وليس لليايات مجرد هاتين الفائدتين اللتين هما تقليل ما يعطل سير العربات

تقليل ما يتعرض للعربات من الاصطدامات الشديدة او منعهما بالكلفة

ثم ان مرونة الحبال تكسبها صلاحية لمقاومة الاصطدامات السريعة وتجعلها كاليانك كما يشاهد ذلك في الحبال المربوطة من احد طرفيها برأس الصاري ومن الطرف الاخر بجانب السفينة فاذا هبت الريح على حين غفلة واثرت في الشراعات بقوة جديدة فان الحبال الموجودة في جهة الهواء تمتد تدريجيا بواسطة تأثير هذه القوة الى النقطة التي تكون فيها المقاومة التدريجية الحاصلة من الحبال والمضافة الى المقاومة المتزايدة الحاصلة من ثبات السفينة عند ميلها بتأثير الهواء مكافئة لقوة الهواء الدافعة ثم ان قصت هذه القوة الدافعة فان قوة مرونة الحبال تعيد هذه الحبال بالتدريج الى طولها الاصلى واما الصواري التي لمرونتها تخفى بحجز تمدد الحبال فانها تعدل بواسطة هذه المرونة ويكون كل من الحبال والصواري قابلا لمقاومة جديدة اذا عاد الهواء الى تأثيره السريع ومن المهم جدا أن تمتد الحبال مدا قويا قبل استعمالها في اسناد الصواري كالحواعيص والاطراف وذلك لان تلك الحبال في مبداء استعمالها تكون عرضة للمد كثيرا بواسطة تأثير القوى الجاذبة في الجهة الطولية بدون أن تعود الى امتدادها الاصلى عند انقطاع تأثير هذه القوى ويلزم من مبداء الامر أن تمتد حتى يبلغ الغاية في الحد قبل أن يحصل من قوة مرونتها ما يقصد منها مما يمكن الوصول اليه فيما تستعمل لاجله

وقد شاهدت السفينة ذات الكويرات الثلاثة المسماة بتجارة باريس حين انكسرت صواريمها العليا بين جريرة فرسقة وافريقة لداعة الهوا وقتئذ وكان منشأ ذلك أن تلك السفينة كانت قريية عهد بالتطعيم فكانت صواريمها ممسكة بحبال لم تبلغ في المدا الحد اللازم بحيث يكون لقوة مرونتها تأثير كئثر المقاومة النافعة الكافية

واذا اريد وضع اهو ان ثقيلة في جوانب السفينة ليرى منها كل ذات ائقال عظيمة لم لاجل تخفيف الاصطدام الحاصل عند رمى الكفة الدافع لها ون على

السفينة دفعا قوا بأن يهتم بوضع طبقة كثيفة من الاجسام المرنة على ظهر السفينة  
ليقع عليها بالندرج تأثير الضغط الحاصل من الهاون قتي بذلك اخشاب  
السفينة على اختلاف انواعها من التخرق والتكسر

فإذا وضع السندال على بناء صلب خال عن المرونة فإن تأثير الاصطدامات المتوالية الحادثة من الضرب بالمطرقة على السندال يكسر الاجرار الموضوع عليه هذا السندال في اقرب وقت فان حصل الاهتمام بوضع جسم مرين ككتلة من خشب تحت السندال المذكور فان البناء الحامل لهذه الكتلة

الحقه التلف

وإذا ضرب الصانع بمطرقة رأسها من الحديد ونصاها من الخشب فإن الاصطدام  
 الحادث من رأس المطرقة يوصل الى نصاها الارتجاجات فتعبد يد الصانع كثيرا  
 لاسيما في مثل اشغال النحاس والسنكري لان ضربات المطرقة فيها تكون  
 متتالية على سطوح مرتجة فاذن يلزم الاهتمام بمجعل قبضة النصاب اغلظ من  
 المعتاد الموضوع في رأس المطرقة حتى تمتاز الارتجاجات بقطاعات تكون سعتها  
 في مبداء الامر قليلة ثم تزداد شيئا فشيئا وبذلك تأخذ شدتها في القلة والضعف

من التدرج حتى ينتهي امرها الى أن الصانع لا يحسن بها الاحساسا هيئا  
الى هنا تم الجزء الثاني من كتاب كشف رموز السر المصون \* في تطبيق الهندسة  
الى الفنون \* على يد مصححه المستنصر بمولاه القوي \* المتبحر اليه تعالى محمد  
بن عبد الله العدوي \* بعد مقابلته على اصله مع مترجه \* ومعرب كلمه \* السيد صالح  
تدي وكان تحرير القاطنه الاصطلاحه \* ١٠١٠

عرفه حضرت محمد افندی بیوہ رحلتہ : ر، م، ن، ی، ہ، ز

فاعة انذار - - - - - المستدرك عليه - والمرجع

٤٠ مدير المدارس \* التي هي

١٠٠ - "عادة من اللوا آادهم سلازلت

عالم لولى النعم وانجباله بدوام السعادة والسود





